Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 1, Spring 2023, p. 91-112

Effects of Nano Silica and Salicylic Acid on Yield and Yield Components in Corn (*Zea mays* L.)-Mungbean (*Vigna radiata* L.) Monocropping and Intercropping under Drought Stress Conditions

S. Afzali[1], S. M. B. Hosseini[2*], L. Ma'mani[3], A. Ahmadi[4]

Received: 19-08-2022 Revised: 02-10-2022 Accepted: 16-10-2022	**How to cite this article:** Afzali, S., Hosseini, S. M. B., Ma'mani, L., & Ahmadi, A. (2023). Effects of Nano Silica and Salicylic Acid on Yield and Yield Components in Corn (*Zea mays* L.)-Mungbean (*Vigna radiata* L.) Monocropping and Intercropping under Drought Stress Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *21*(1), 91-112. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.78199.1194

Introduction

Intercropping is an ecological crop management method in which at least two plant species grow simultaneously on a field. Increased land productivity in intercropping of cereals and legumes is mainly due to the positive interaction between cereals and legumes in the rhizosphere, which increases the efficiency of soil resource utilization, especially nitrogen (N). Mixed cultivation of legumes with cereals provides higher land use efficiency, lower water consumption, and greater environmental benefits than cereal monocultures. Salicylic acid (SA) is a natural plant hormone that affects various physiological and biochemical functions in plants, because it can act as a regulatory and mediating signal in the plant's response to abiotic stresses such as drought. In recent years, nanotechnology has also been introduced into agriculture, and several benefits of nanoparticle applications such as nano-silica ($nSiO_2$) have been reported that can be used to increase the supply of nutrients to agricultural products. The aim of this study was to determine the possible role of growth regulators of salicylic acid and nanosilica particles ($nSiO_2$) on crop yield in maize and mung bean intercropping under drought stress conditions.

Materials and Methods

The experiment was conducted in 2019-2020 cropping year in the research farm of Agriculture and Natural Resources Campus, the University of Tehran, located in Karaj. The experiment was performed in the form of split- split plots based on a randomized complete block design with three replications. The main plot was drought stress at two levels of full irrigation and cessation of irrigation, the sub plots included different intercropping arrangements of maize and mung bean: (maize monoculture (C_{100}), maize 80: mung bean 40 (C_{80}:M_{40}), maize 80: mung bean 60 (C_{80}:M_{60}), maize 50: mung bean 50 (C_{50}:M_{50}) and mung bean monoculture (M_{100}) and the sub-sub plots were four treatments of silica nanoparticles +salicylic acid, silica nanoparticles, commercial salicylic acid and control. Statistical calculations were performed by SAS 9.2 and Excel software in this study. The mean comparison was performed by LSD test and the probability level was considered 95% in all analyzes.

Results and Discussion

The results showed that the highest maize grain yield was obtained in the monoculture treatment, Si + Sa

1- Ph. D. Student of Crop Ecology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Agriculture and Natural Resources Campus, University of Tehran, Karaj, Iran
2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Agriculture and Natural Resources Campus, University of Tehran, Karaj, Iran
3- Research Assistant Professor, Department of Nanotechnology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
4- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Agriculture and Natural Resources Campus, University of Tehran, Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: bhoseini@ut.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.78199.1194

combined fertilizer and full irrigation, which was 179% higher than the lowest treatment (C_{50}:M_{50} intercropping, control and drought stress). The highest biological yield of maize was obtained in the complete irrigation and Si + Sa fertilizer treatment under monoculture conditions. The lowest value of this index was observed in the treatments of drought stress, control without fertilizer and C_{50}:M_{50} intercropping conditions. The highest yield of mung bean seeds was obtained in monoculture of mung bean, application of Si + Sa fertilizer and complete irrigation. The highest biological yield belonged to mung bean monoculture treatment, nano Si + Sa compound fertilizer and complete irrigation. The lowest was obtained in C_{50}:M_{50} and C_{80}:M_{60} intercropping treatments, non-fertilizer application and drought stress. Also, the highest land equivalent ratio was obtained in full irrigation and C80M60 intercropping and nano Si + Sa fertilizer treatment (1.57).

Conclusion

In general, the results of this study showed that, drought stress reduced all the studied traits. While intercropping with increasing diversity had a significant effect on important agronomic traits under both optimal irrigation and drought stress conditions. LER values were more than one in intercropping crops that indicated higher ground productivity in these planting patterns than in monoculture of crops. The highest LER value was obtained in C_{80}:M_{60} intercropping treatment under non- stress and application of nano Si + Sa. Silica nanoparticles and salicylic acid fertilizers had a positive effect on grain and biological yield of both plants as well as land equivalent ratio and reduce the negative effects of drought stress on plants and can be used as suitable approach to achieve sustainable agriculture goals.

Keywords: Land equivalent, Monoculture, Nanofertilizer, Planting arrangements, Sustainable agriculture

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۱۱۲-۹۱

اثرات نانو سیلیس و سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و ماش سبز (*Vigna radiata* L.) در شرایط تنش خشکی

سحر افضلی[۱]، سید محمدباقر حسینی[۲*]، لیلا مأمنی[۳]، علی احمدی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴

چکیده

خشکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که رشد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. استفاده از نانو ذرات می‌تواند به‌عنوان راهکاری در تعدیل اثرات تنش خشکی مؤثر واقع شود. بنابراین به‌منظور بررسی اثر الگوی کاشت، تنش خشکی و کاربرد نانوذرات سیلیس و سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت و ماش آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران انجام شد. عامل اصلی تنش خشکی در دو سطح آبیاری کامل (۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و تنش خشکی (۸۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)، عامل فرعی پنج آرایش مختلف کشت: (کشت خالص ذرت (C_{100})، و تیمارهای کشت مخلوط ذرت ۸۰٪: ماش ۴۰٪ (C_{80}: M_{40})، ذرت ۸۰٪: ماش ۶۰٪ (C_{80}:M_{60})، ذرت ۵۰٪: ماش ۵۰ ٪ (C_{50}:M_{50}) و کشت خالص ماش (V_{100}) و عامل فرعی-فرعی چهار تیمار نانوذرات سیلیس (Si)+ سالیسیلیک اسید (Sa)، نانو ذرات سیلیس (Si)، سالیسیلیک اسید تجاری (Sa) و شاهد (بدون کود: C) بود. محلول‌پاشی نانو ذرات نیز به‌صورت برگ مصرف انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بیشترین عملکرد دانه ذرت در تیمار تک‌کشتی ذرت، کود ترکیبی نانو Si + Sa و آبیاری کامل به‌دست آمد که ۱۷۹ درصد بیشتر از کمترین تیمار (کشت مخلوط $C_{50\%}$:$M_{50\%}$، شاهد و تنش خشکی) بود. بیشترین عملکرد دانه ماش نیز در تیمار تک‌کشتی ماش، کاربرد کود ترکیبی نانو Si + Sa و آبیاری کامل به‌دست آمد. در نتایج آزمایش مشاهده شد در شرایط تنش خشکی کاربرد تیمارهای تغذیه‌ای نسبت به عدم کاربرد آن‌ها منجر به افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک در ذرت و ماش گردید. بیشترین میزان نسبت برابری زمین نیز در آبیاری کامل و کشت مخلوط C_{80}:M_{6}. و تیمار کودی نانو Si + Sa (۱/۵۷) حاصل شد. با توجه به این نتایج، استفاده از نانوکودها با توجه به میزان اندک کود مصرفی و کاربرد سالیسیلیک در کنترل تنش خشکی راهکار مناسبی برای کاهش نهاده‌های مصرفی و دستیابی به کشاورزی پایدار می‌باشد. از طرفی کشت مخلوط ماش و ذرت با ایجاد تنوع و بهره‌وری بالاتر در استفاده از زمین به دلیل تولید LER بیشتر از یک در شرایط تنش خشکی و آبیاری کامل، می‌تواند در شرایط تنش خشکی سودمند باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، تک‌کشتی، کشاورزی پایدار، نانوکود، نسبت برابری زمین

مقدمه

کشت مخلوط یک روش مدیریت زراعی اکولوژیکی است که در آن حداقل دو گونه گیاهی در یک مزرعه به‌طور هم‌زمان رشد می‌کنند (Wezel *et al.*, 2014). این روش کشت که به‌طور سنتی توسط کشاورزان خرده‌پا برای افزایش تولید محصول، کاهش خطرات زیست‌محیطی و استفاده کارآمدتر از زمین استفاده می‌شود، به‌طور پایدار پتانسیل زیادی را برای افزایش تولید مدرن محصولات زراعی دارد (Bybee-Finley & Ryan, 2018). کشت مخلوط غلات با لگوم‌ها (به‌عنوان مثال، حبوبات) به دلایل زیر بسیار امیدوارکننده است (الف) اهمیت اجتماعی-اقتصادی و نقش کلیدی آن‌ها در بسیاری از رژیم‌های غذایی انسان و (ب) مکمل اصلی شناخته‌شده کشت مخلوط غلات (Bedoussac *et al.*, 2015). بهره‌وری بیشتر زمین در کشت

۱- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، ایران
۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، ایران
۳- استادیار بخش نانو تکنولوژی پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: bhoseini@ut.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.78199.1194

مخلوط غلات و لگومها عمدتاً به دلیل برهمکنش مثبت بین غلات و لگومها بر ریزوسفر در کشت مخلوط است که کارایی استفاده از منابع خاک، به‌ویژه نیتروژن (N) را افزایش می‌دهد (Jensen *et al.*, 2020). تثبیت همزیستی نیتروژن (SNF)، که توسط باکتری‌های ریزوبیومی در ریشه لگومها به‌صورت گره‌زایی انجام می‌شود، یکی از خدمات مهم اکوسیستم کشاورزی است که توسط لگومها ارائه می‌شود. همچنین لگومها به دلیل این‌که منبع غنی از پروتئین می‌باشند، می‌توانند در تغذیه دام به‌خوبی مورداستفاده قرار گیرند. به‌دلیل محتوای پروتئین پایین علوفه ذرت، استفاده تنها از علوفه ذرت منجر به تولید رضایت‌بخش در بسیاری از دامها نمی‌شود که کاربرد لگومها به همراه ذرت می‌تواند این مشکل را مرتفع کند (Javanmard *et al.*, 2012). لگومها با تأمین نیتروژن برای گیاه دیگر موجب افزایش پروتئین و درشتی میوه و دانه می‌شود. هرچه غلظت نیتروژن در برگ‌ها افزایش یابد، شدت کربن‌گیری را زیادتر می‌کند. زیرا نیتروژن غیر از آن‌که به‌صورت پروتئین در گیاه وجود دارد، عنصر اصلی تشکیل‌دهنده کلروفیل نیز می‌باشد که عامل اساسی در کربن‌گیری است (Alibakhshi & Mirzakhani, 2016). غلات می‌توانند از لگومها در استفاده از نیتروژن معدنی خاک سبقت بگیرند، بنابراین می‌توانند دسترسی به نیتروژن خاک را کاهش دهند و متعاقباً تثبیت همزیستی نیتروژن لگومها را تحریک می‌کنند (Bargaz *et al.*, 2021). این امر منجر به جذب بیشتر نیتروژن در هر واحد زمین در کشت مخلوط غلات و لگومها در مقایسه با تک‌کشتی می‌شود (Lithourgidis & Dordas, 2010). با افزایش تنوع در کشت مخلوط کارایی استفاده از آب، نیتروژن و سایر عناصر ماکرو و میکرو افزایش می‌یابد همچنین هزینه تولید محصول و ریسک‌پذیری بازار کاهش می‌یابد (Bargaz *et al.*, 2021). بااین‌وجود طیف وسیعی از لگومها به محدودیت‌های محیطی حساس هستند که می‌تواند منجر به تغییر در رشد لگومها و تثبیت همزیست نیتروژن شوند (Bargaz *et al.*, 2021).

ذرت یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که اهمیت زیادی در تغذیه انسان، تعلیف دام، تغذیه طیور و صنعت دارد. سهم ذرت در تأمین غذای انسان ۲۰ تا ۲۵ درصد، خوراک دام و طیور ۶۰ تا ۷۵ درصد و به‌عنوان ماده اولیه جهت فرآورده‌های صنعتی ۵ درصد می‌باشد. کمبود رطوبت یکی از عوامل مهم محدودکننده رشد ذرت به‌شمار می‌رود (Khadim *et al.*, 2011). ماش گیاهی از تیره لگومینوز و زیر تیره پروانه آسا می‌باشد که در بخش‌های مختلفی از دنیا کشت شده و نقش مهمی در تغذیه کشورهای درحال‌توسعه ایفا می‌کند. ماش دارای خصوصیاتی ازجمله دوره رشد کوتاه، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، تقویت خاک و جلوگیری از فرسایش آن است. دانه‌های ماش غنی از پروتئین بوده و به‌عنوان منبع باارزش پروتئین گیاهی نقش مهمی در تغذیه انسان ایفا می‌کند. علاوه بر دانه، غلاف‌ها و جوانه‌های ماش نیز به‌صورت سبز مصرف‌شده که دارای انواع ویتامین‌ها و مواد معدنی است. ماش در دوره رشد خود با تنش خشکی مواجه شده و این تنش تقریباً تمامی جنبه‌های رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار داده که درنهایت موجب کاهش عملکرد و اجزای آن می‌شود (Sadeghipour *et al.*, 2014).

محدودیت آب عامل اصلی بی‌ثباتی عملکرد لگومها و گره‌زایی است (Farooq *et al.*, 2017). خشک‌سالی عامل محدودکننده قابل‌توجهی برای بهره‌وری کشاورزی است و با کاهش جذب آب و جذب عناصر غذایی، رشد گیاه را مهار می‌کند (Amanullah *et al.*, 2010). چالش کشاورزی امروز افزایش عملکرد با استفاده از آب کمتر به‌خصوص در مناطقی با منابع آب و زمین محدود می‌باشد (Zhang *et al.*, 2012).کشت مخلوط لگومها با غلات، کارایی استفاده از زمین بالاتر، مصرف آب کمتر و مزایای زیست محیطی بیشتری را نسبت به تک‌کشتی‌های غلات فراهم می‌کند (Amanullah *et al.*, 2021). سامانه کشت مخلوط غلات و لگومها می‌تواند عملکرد محصولات را با به اشتراک گذاشتن منابع زیست‌محیطی موجود افزایش دهد، همچنین کشت مخلوط باعث افزایش بهره‌وری محصول در مقایسه با کشت خالص می‌شود (Layek *et al.*, 2018). بررسی منابع علمی نشان می‌دهد راندمان مصرف آب در کشت‌های مخلوط بیشتر از تک‌کشتی است (Khoramivafa *et al.*, 2011). الگوهای جذب آب در گیاهانی که به‌صورت مخلوط کشت می‌شوند با تک‌کشتی آن‌ها متفاوت است. در رابطه با مصرف آب در چندکشتی، اصل تولید رقابتی و رقابت اجزای چندکشتی برای دستیابی به آب نقش کلیدی و اهمیت فراوانی دارد. به‌نحوی‌که با انتخاب نامناسب اجزای چندکشتی، به‌ندرت گونه‌ها، محیط را به سود یکدیگر تغییر خواهند داد و به این دلیل محدودیت رطوبت در این چنین ترکیب‌های نادرست به غلبه یک محصول بر محصول دیگر منجر و باعث خسارت اقتصادی می‌شود، در مقابل انتخاب درست گونه‌های گیاهی منجر به کاهش رقابت و بهره‌گیری مناسب هر دو گونه از آب خواهد شد (Khoramivafa *et al.*, 2011). معمولاً رقابت بین گونه‌ای برای آب کم‌تر از رقابت درون‌گونه‌ای است، زیرا گونه‌های مختلف دارای ساختار، سیستم ریشه‌ای و دوره‌های حداکثر نیاز به آب متفاوتی می‌باشند (Li-li *et al.*, 2017). در این خصوص گزارش‌های متفاوتی در زمینه عملکرد کشت مخلوط جو (*Hordeum Vulgare* L.) با ماشک (*Vicia sativa* L.) و در مخلوط سویچ گراس (*Panicum virgatum* L.) با گون (*Astragalus onobrychis* L.) نیز وجود دارد. در شرایط تنش خشکی در تحقیق دیگری گزارش شده است که در کشت مخلوط گندم- ذرت میزان مصرف آب بیش‌تر از کشت خالص است ولی افزایش عملکرد نسبت به کشت خالص گندم (*Triticum aestivum* L.) و کشت خالص ذرت (*Zea mays* L.) موجب افزایش ۲۶ درصدی کارایی مصرف آب شد (Hu *al.*, 2017)

et). اگرچه در این زمینه تحقیقات متعددی انجام شده اما اطلاعات مربوط به سودمندی کشت مخلوط در به‌کارگیری بهتر و اصلاح‌شده از منابع به‌خصوص آب و اثبات سازوکارهای درگیر در این رابطه هنوز شناخته نشده است (Khoramivafa *et al*., 2011).

در مناطق نیمه‌خشک، که حاصلخیزی خاک‌ها کمتر است، ممکن است تأمین نیازهای غذایی گیاهان زراعی مشکل باشد و کاربرد کود ابزار مناسبی برای جبران کمبود عناصر غذایی و جایگزینی عناصر حذف شده توسط محصولات برداشت شده، است (Wang *et al*., 2010).

ورود فناوری‌های جدید به صنعت کشاورزی مهم‌ترین عامل در ایجاد کشاورزی مدرن است. در این میان فناوری نانو، زمینه مناسبی را در تولید محصولات غذایی و کشاورزی فراهم آورده است (Hashemi-Dehkourdi *et al*., 2017). کودهای تولیدشده با فناوری نانو نسبت به کودهای شیمیایی متداول کارآمدتر و با محیط‌زیست سازگارتر هستند؛ به سرعت توسط گیاهان جذب شده و نیازهای آن ها را پاسخ می‌دهد. (Naderi & Abedi, 2012; Shojaei & Makarian, 2015). در سال‌های اخیر کاربردهای زراعی از ذرات نانو مفید در پژوهش‌های مزرعه‌ای موردتوجه قرار گرفته است، در میان نانوذرات، نانوسیلیس مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (Janmohammadi *et al*., 2017). مزایای متعدد کاربردهای نانوذرات مانند نانو سیلیس ($nSiO_2$) گزارش شده است که می‌توان از آن برای افزایش عرضه عناصر غذایی به محصولات کشاورزی استفاده کرد (Sabaghnia *et al*., 2018). مطابق با گزارش صدیقی و همکاران (Siddiqui *et al*., 2015)، کاربرد محلول‌پاشی نانو سیلیس در طول دوره رشد مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. همچنین محلول‌پاشی نانو سیلیس روی گیاهان با افزایش تجمع آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش کارایی دستگاه فتوسنتزی باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Kalteh *et al*., 2014). نانوذرات سیلیس مقاومت گیاهان در مقابل تنش خشکی را با افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانت، کاهش آسیب اکسیداتیو به مولکول‌های غشا و نگهداری بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و فتوسنتزی زیاد می‌کنند. درنتیجه تنش خشکی را کنترل می‌کند و مقدار آسیب وارده به گیاهان را به حداقل می‌رسانند (Mahmoodi *et al*., 2020). یاواکومار و همکاران (Yuvakkumar *et al*., 2011) مطالعه‌ای بر روی گیاه ذرت نشان دادند که کاربرد نانوذرات سیلیس به‌صورت پودر و مخلوط با خاک منجر به افزایش رشد گیاه گردید.

همچنین استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد و املاح سازگار (سالیسیلیک اسید و نانو ذرات) در مناطق نیمه‌خشک می‌تواند یک عمل موثر برای بهبود عملکرد محصول باشد که به‌طور کلی برای کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های محیطی به‌کار می‌روند (Wang *et al*., 2010). املاح سازگار مولکول‌هایی هستند که با حفظ اسمولالیته درون سلولی، از سلول‌ها در برابر خشک شدن محافظت می‌کنند (Wani *et al*., 2013). سالیسیلیک اسید (SA) یک هورمون گیاهی طبیعی است که بر عملکردهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلف در گیاهان تأثیر می گذارد، زیرا می تواند به‌عنوان یک سیگنال تنظیمی و واسطه، در واکنش گیاه به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی نقش داشته باشد (Wang *et al*., 2010). بر اساس نتایج آزمایش درویژه و همکاران (Darvizheh *et al*., 2019) محلول‌پاشی سرخارگل (*Echinacea purpureae* L.) با سالیسلیک اسید موجب بهبود رشد این گیاه در هر دو شرایط تنش کم‌آبی و بدون تنش گردید. فرحبخش و حمسدین سعید (Farahbakhsh & Hamsaddin Saied, 2011) گزارش کردند محلول‌پاشی گیاهان ذرت با سالیسلیک اسید تحت تنش خشکی سبب افزایش وزن خشک گیاه، ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ و محتوای کلروفیل برگ شد. کاربرد خارجی نانو ذرات می‌تواند مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی را در مناطق نیمه‌خشک بهبود بخشد، اما علی‌رغم پیشرفت‌های اخیر در درک برخی از پیامدهای زیست‌محیطی نانوذرات، تحقیقات کمی در مورد تأثیر این مواد بر عملکرد گیاهان زراعی در کشت مخلوط در دسترس است. بنابراین، هدف از این پژوهش تعیین نقش احتمالی تنظیم‌کننده‌های رشد سالیسلیک اسید و نانو ذرات سیلیس ($nSiO_2$) بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه گیاهان زراعی در کشت مخلوط ذرت و ماش تحت شرایط تنش خشکی بود.

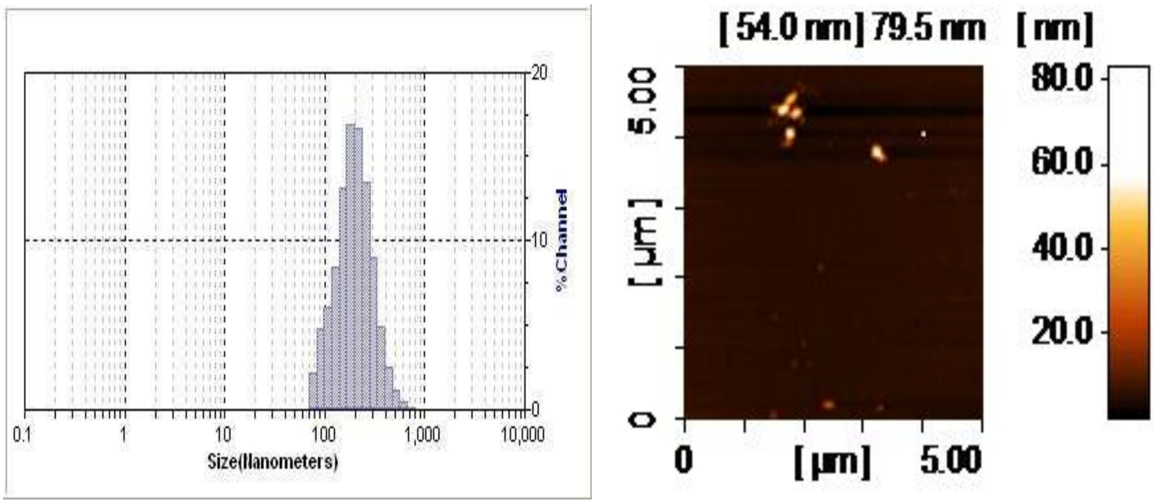
مواد و روش‌ها

آزمایش در بهار سال زراعی ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهرستان کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۱۶۰ متر از سطح دریا اجرا شد. متوسط بلندمدت بارندگی سالانه در این منطقه ۲۵۱ میلی‌متر بوده که عمده پراکنش آن در فصول پاییز و زمستان است. میانگین درجه حرارت سالانه این منطقه نیز ۱۴/۴ درجه و حداقل و حداکثر مطلق دما به‌ترتیب ۲۰- و ۴۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. داده‌های هواشناسی طی دوره اجرای پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- آمار هواشناسی (ماهانه) ایستگاه سینوپتیک کرج طی دوره آزمایش در طول فصل رشد در سال ۱۳۹۹
Table 1- Meteorological statistics (monthly) of Karaj synoptic station during the experimental period in 2020

ماه Month	بارش Precipitation (mm)	دمای حداقل Minimum temperature (°C)	دمای حداکثر Maximum temperature (°C)	دمای میانگین Average temperature (°C)	ساعت آفتابی Sunny hours (h)
April فروردین	94.22	5.61	16.32	10.96	6.94
May اردیبهشت	56.15	11.01	21.21	16.11	9.09
June خرداد	0	16.9	34.16	25.53	11.8
July تیر	0	19.2	34.3	26.75	11.16
August مرداد	0	18.8	35.3	27.05	11.01
September شهریور	0	16.6	31.2	23.9	10.9
October مهر	9.7	10.94	24.31	17.62	7.46

آزمایش به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده بر پایه طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اصلی تنش خشکی در دو سطح آبیاری کامل (۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و تنش آبی (۸۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) بود که تنش خشکی در مرحله ۱۰برگی ذرت (گیاه اصلی) تا انتهای فصل رشد اعمال شد، عامل فرعی آرایش‌های مختلف کشت مخلوط افزایشی و تک‌کشتی ذرت و ماش در پنج سطح (کشت خالص ذرت (C_{100})، کشت مخلوط ذرت ۸۰٪: ماش ۴۰٪ (C_{80}:M_{40})، کشت مخلوط ذرت ۸۰٪: ماش ۶۰٪ (C_{80}:M_{60})، کشت مخلوط ذرت ۵۰٪: ماش ۵۰٪ (C_{50}:M_{50}) و کشت خالص ماش (M_{100}) و عامل فرعی-فرعی چهار تیمار نانو ذرات سیلیس- سالیسیلیک اسید (nano si+sa)، نانو ذرات سیلیس (nano Si)، سالیسیلیک اسید تجاری (Sa) هر یک به میزان۲۰۰ پی‌پی‌ام (به‌صورت محلول‌پاشی برگ مصرف) و شاهد بدون کود بود. انتخاب سطوح تنش بر اساس بررسی منابع صورت گرفته است (Ali *et al.*, 2016) که گزارش شده است این سطح تنش برای هر دو گیاه قابل تحمل بود و تنش در سطوح بالاتر منجر به کاهش بسیار زیاد تولید ذرت می‌شود بنابراین سطح بالاتر تنش انتخاب نشد. از طرفی به دلیل این‌که ماش گیاهی مقاوم به تنش است و همین‌طور ذرت گیاه اصلی در این پژوهش می‌باشد بنابراین برای اعمال تنش با توجه به مقاومت متفاوت دو گیاه به تنش خشکی، گیاه ذرت معیار اصلی قرار گرفت. کودهای به‌کار رفته در این آزمایش از پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران تهیه شد. بین دو ماده یعنی سیلیس و سالیسیلیک اسید واکنشی صورت نگرفت، سالیسیلیک اسید روی نانو سیلیس بارگذاری یا لود شد. مشخصات نانوذره با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM: Atomic Force Microscope) و پراکندگی نور دینامیکی (DLS: Dynamic Light Scattering) اندازه‌گیری شد که اندازه آن به‌ترتیب ۷۹/۵ و ۲۱۹ نانومتر بود (شکل ۱). قبل از اجرای آزمایش، خاک مزرعه برای تعیین خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک و تعیین نیاز کودی مورد آزمایش قرار گرفت و ویژگی‌های آن در جدول ۲ آورده شده است. ابعاد کرت‌های آزمایشی ۴/۵ در ۴ متر مربع بود. فاصله بین کرت‌ها ۱/۵۰ متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر در نظر کرفته شد. در کرت‌های تک‌کشتی ذرت فاصله بین ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف نیز ۱۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در کرت‌های تک‌کشتی گیاه ماش نیز فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف نیز ۱۰ سانتی‌متر بود. تراکم بوته‌ها در کشت خالص ذرت و ماش به‌ترتیب ۷/۵ و ۲۰ بوته در متر مربع بود. تیمارهای کشت مخلوط افزایشی با افزایش تراکم بوته‌ها بر روی ردیف اعمال شدند. ذرت مورد استفاده رقم FAO 450 بود که یک رقم زودرس و دارای قدرت جوانه‌زنی اولیه و عملکرد بالا می‌باشد. خصوصیات ظاهری این ذرت شامل دندان اسبی، دارای ۱۶ تا ۱۷ ردیف دانه روی بلال و ارتفاع بالا می‌باشد. بیماری است و تراکم کاشت آن معمولاً ۶۰ تا ۷۰ هزار بوته در هکتار در نظر گرفته می‌شود. همچنین ماش مورد استفاده نیز یک لاین هندی به نام سیمیت ۱ (MH421) بود که لاینی زودرس می‌باشد و دارای دانه‌های درشت تا متوسط، خوش‌پخت و تا حدودی مقاوم به تنش‌های محیطی از جمله تنش‌خشکی است و دارای تیپ بوته ایستاده می‌باشد. آبیاری تمام واحدهای آزمایشی تا مرحله ۱۰ برگی ذرت به‌صورت یکسان و کامل با روش آبیاری قطره‌ای انجام گرفت و از مرحله ۱۰ برگی ذرت در تیمارهای مورد نظر تنش آبی تا پایان فصل رشد اعمال شد که در این مرحله کانوپی ماش نیز به‌طور کامل تشکیل شده بود.



شکل ۱- اندازه ذرات نانو سالیسیلیک اسید به روش AFM (شکل سمت راست) و DLS (شکل سمت چپ)

Figure1- Size of nano salicylic acid particles by AFM (right figure) and DLS (left figure)

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Soil chemical and physical characteristics of the experimental site

Soil texture	Available nitrogen (%)	P ($mg.kg^{-1}$)	K ($mg.kg^{-1}$)	pH	EC ($dS\ m^{-1}$)	OC (%)
لوم رسی (Clay loam)	0.081	61.4	108	7.50	1.23	0.77

برای تعیین میزان آب مورد نیاز و اعمال تیمارهای آبیاری با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه در محل آزمایش و روش تشتک تبخیر (کلاس A) اقدام شد. میزان تبخیر به‌طور روزانه اندازه‌گیری شد و آبیاری هر تیمار، پس از رسیدن میزان تبخیر تجمعی به مقدار مورد نظر انجام شد. نیاز آبی هر گیاه، با تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن مونتیث و ضرایب گیاهی در منطقه مورد آزمایش، از روابط (۱) و (۲) تعیین شد (Farnia *et al*., 2006). ابتدا با توجه به شرایط اقلیمی محاسبه می‌شود که پس از چه میزان تبخیر از سطح، نیاز به آبیاری مجدد وجود دارد.

برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق مرجع میزان تبخیر از تشت در ضریب تشت مورد نظر ضرب شد. بدین صورت:

$$ET_0 = K_p * E_{pan} \quad (۱)$$

که در این فرمول ET_0: تبخیر- تعرق مرجع (میلی‌متر در روز) و E_{pan}: تبخیر تشت (میلی‌متر در روز) و K_p ضریب تشت می‌باشد ضریب تشت با توجه به داده‌های هواشناسی شامل سرعت باد (متر بر ثانیه)، فاصله تشت از پوشش گیاهی سبز بالادست در جهت وزش باد و میزان رطوبت نسبی منطقه به‌دست آمد و پس از محاسبه میزان تبخیر و تعرق مرجع، برای به‌دست آوردن میزان تبخیر و تعرق گیاه زراعی مورد نظر از رابطه (۲) استفاده شد:

$$ET_C = K_C * ET_0 \quad (۲)$$

ET_c: تبخیر و تعرق گیاه زراعی مورد نظر (میلی‌متر در روز)، ET_0: تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر در روز) و K_C: ضریب گیاه زراعی مورد نظر می‌باشد. برای اندازه‌گیری میزان آب مصرفی در هر دور آبیاری در ابتدای هر کرت کنتور بسته شد.

برای تعیین ضرایب گیاهی ذرت و ماش در مراحل مختلف نمو، از شیوه‌نامه فائو استفاده شد (Allen *et al*., 1998). برای محاسبه مقدار آب مصرفی در این آزمایش، به دلیل تفاوت در نیاز آبی دو گیاه، میانگین ضرایب گیاهی ذرت و ماش در نظر گرفته شد (Alizadeh & Kamali, 2007). میزان ضرایب گیاهی ذرت در مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی به‌ترتیب برابر با ۰/۳، ۱/۲۰ و ۰/۸۵ به‌دست آمد. ضرایب گیاهی برای ماش نیز در مراحل ابتدای، میانی و انتهای به‌ترتیب برابر با ۰/۵، ۰/۸۹ و ۱/۰۵ بود.

عملیات کاشت به‌صورت دستی در خردادماه سال ۱۳۹۹ برای هر دو گیاه به‌صورت هم‌زمان انجام شد. محلول‌پاشی کودهای سالیسیلیک اسید- سیلیس برای گیاهان ذرت و ماش قبل از اعمال تنش خشکی (دو هفته قبل از اعمال تنش خشکی) به‌صورت محلول‌پاشی برگی با سمپاش برقی پالمیک مدل V16 ساخت کشور اسپانیا در یک نوبت انجام شد. تنش خشکی در مرحله ۱۰ برگی ذرت اعمال شد.

عملیات برداشت گیاه ماش ۷۴ روز پس از کاشت و گیاه ذرت ۱۱۰ روز پس از کاشت در مرحله رسیدگی کامل هر دو گیاه به‌صورت دستی و در سطح یک متر مربع انجام شد. برای تعیین عملکرد دانه، با

رعایت حاشیه‌ها از سطح معادل ۱ متر مربع در انتهای فصل رشد، بوته‌ها را از نزدیک سطح زمین کف‌بر نموده و با کوبیدن و جدا کردن دانه‌ها عملکرد دانه تعیین شد. برای محاسبه عملکرد بیولوژیک، وزن خشک دانه‌ها با وزن خشک بقایای گیاه جمع شد. جهت محاسبه شاخص برداشت، از رابطه (۳) استفاده شد که در آن GY عملکرد دانه و BY عملکرد بیولوژیک گیاه است:

$$HI= (GY/BY) \times 100 \quad (۳)$$

برای ارزیابی نسبت‌های کشت مخلوط شاخص نسبت برابری زمین بر اساس رابطه (۴) محاسبه شد (Gliessman, 1990):

$$LER= (Yij/Yii) +(Yji/Yjj) \quad (۴)$$

که در این معادله Yii= عملکرد گونه i در کشت خالص، Yjj= عملکرد گونه j در کشت خالص، Yij= عملکرد گونه i در کشت مخلوط، Yji= عملکرد گونه j در کشت مخلوط می‌باشد.

جهت محاسبات آماری در این مطالعه از نرم‌افزارهای SAS 9.2 و Excel (2010) استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون LSD انجام گرفت و سطح احتمال به‌کار رفته در کلیه تجزیه و تحلیل‌ها ۹۵٪ در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج ذرت

عملکرد بیولوژیک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی و الگوی کشت در سطح یک درصد و کود در سطح پنج درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بودند. همچنین بر همکنش دوگانه تنش خشکی × الگوی کشت در سطح یک درصد و سه عامل تنش خشکی × کود × الگوی کشت در سطح پنج درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری کامل و کود ترکیبی نانو Si + Sa در شرایط تک‌کشتی ذرت C_{100} (۲۹۹۹۵ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. کمترین میزان این شاخص نیز در تیمار سه‌گانه تنش خشکی و شاهد بدون کود در شرایط کشت مخلوط C50:M50 (۱۱۰۲۱ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد که تفاوت بیشترین و کمترین میزان این شاخص در میان تیمارهای مختلف برابر با ۱۷۲ درصد می‌باشد (جدول ۴). سیستم ریشه ذرت می‌تواند به عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک برسد و می‌تواند آب ذخیره شده خاک را از لایه‌های عمیق‌تر خاک استخراج کند (Ren *et al*., 2017) و مکملی برای دریافت آب در نتیجه افزایش کانوپی گیاهی است که منجر به افزایش تولید ماده خشک و در نتیجه افزایش عملکرد می‌شود (Zhao *et al*., 2020). سیلیس با کاهش تعرق گیاه و یا رسوب در زیر سلول‌های اپیدرم برگ و ساقه باعث کاهش اتلاف آب از کوتیکول می‌شود. در نتیجه باعث حفظ و نگهداری آب در سلول و افزایش فشار تورژسانس می‌شود و منجر به افزایش سطح سبز گیاه می‌گردد. رسوب کریستال‌های سیلیکات در سلول‌های اپیدرمی مانعی را برای کاهش آب از کوتیکول‌ها ایجاد می‌کند (Arouiee *et al*., 2014)، که ممکن است برای گیاهان مفید باشد و در نتیجه افزایش فتوسنتز را در پی داشته باشد. محققان مختلف کاهش عملکرد بیولوژیک را در گیاهان گندم (Bukhari *et al*., 2021)، ذرت (Gomaa *et al*., 2021) در نتیجه اعمال تنش خشکی و بهبود آن را در اثر کاربرد نانو ذرات سیلیس و سالیسیلیک اسید گزارش دادند. کاهش خسارت غشاء در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک که به‌عنوان راهی برای افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان شناخته شده است، ممکن است با تولید آنتی‌اکسیدان برای کاهش خسارت اکسید شدن همراه باشد (Mehrabian moghadam *et al*., 2011). سالیسیلیک اسید بر محدوده وسیعی از فرآیندها از جمله جذب و انتقال یون‌ها، نفوذپذیری غشا و هدایت روزنه‌ای تأثیرگذار است. همچنین سالیسیلیک اسید در غلظت‌های مناسب با افزایش توان سیستم آنتی‌اکسیدانی سلول سبب کاهش اثرات مخرب تنش می‌گردد. سالیسیلیک اسید رشد و تقسیم سلولی را با تأثیر بر هورمون‌های دیگر نظیر اکسین، سیتوکینین، جیبرلین و آبسیزیک اسید تنظیم می‌کند و به این ترتیب بر میزان رشد گیاه مؤثر می‌باشد (Daneshman *et al*., 2012).

عملکرد دانه: مطابق با نتایج تجزیه واریانس جدول ۳ مشخص شد که اثرات اصلی تنش خشکی، الگوی کشت و انواع کود در سطح یک درصد و برهمکنش‌های تنش خشکی × کود و تنش خشکی × الگوی کشت در سطح یک درصد و برهمکنش سه عامل تنش خشکی × کود × الگوی کشت در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه ذرت معنی‌دار بودند. بیشترین عملکرد دانه (۱۴۷۵۸ کیلوگرم در هکتار) متعلق به تیمار تک‌کشتی ذرت، کود ترکیبی نانو Si + Sa و آبیاری کامل بود (جدول ۳). کمترین (۵۲۹۰ کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار کشت مخلوط C_{50}:M_{50}، عدم مصرف کود و تنش خشکی به‌دست آمد که تفاوت بیشترین و کمترین میزان این شاخص برابر با ۱۷۹ درصد می‌باشد (جدول ۴). در بین کشت‌های مخلوط نیز بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار C_{80}:M_{40} (۱۰۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) کود ترکیبی نانو Si + Sa و آبیاری کامل بود. کمتر بودن عملکرد دانه ذرت در کشت مخلوط را می‌توان به کم بودن تعداد بوته در واحد سطح در این الگوی کاشت نسبت داد. در مطالعات مختلف، اثر کاهش فراهمی آب بر عملکرد دانه ذرت موردبررسی قرار گرفته است که در بیشتر این تحقیقات کاهش عملکرد دانه ذرت در شرایط آبیاری محدود به دلیل کاهش کلیه اجزای عملکرد دانه بود که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد (Xie *et al*., 2021).

تکنیک‌های متعدد مقرون به صرفه‌ای مانند کاربرد نانوذرات سیلیس و سالیسیلیک اسید در جهت کاهش تنش خشکی وجود دارند.

حافظ و همکاران (Hafez *et al.*, 2021) در آزمایش خود گزارش دادند که نانوذرات سیلیس به‌وضوح رشد گیاهان ذرت را در فواصل آبیاری مختلف افزایش داد. این محققین گزارش دادند که گیاهان تیمار شده با سیلیس برترین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و گیاه و جذب عناصر را نسبت به تیمار شاهد داشتند و در نتیجه بیشترین عملکرد در این شرایط تولید گردید (Hafez *et al.*, 2021). سیلیس می‌تواند تنش آب را با کاهش تعرق و افزایش وزن و توسعه ریشه و بهبود جذب آب و عناصر، کاهش دهد (Aqaei *et al.*, 2020). محققان اظهار داشتند که سیلیس غلظت بعضی از عناصر را در گیاه افزایش می‌دهند و همچنین در انتقال آن‌ها به اندام هوایی مؤثر می‌باشد. همچنین مشخص شده است که سیلیس می‌تواند بر ایجاد موانع آپوپلاستی در ریشه تأثیر بگذارد و مسیرهای آپوپلاستی را کنترل کند و در پی آن در انتقال عناصر از طریق آپوپلاست ریشه به اندام هوایی مؤثر باشند (Vaculikova *et al.*, 2016). در واقع می‌توان گفت سیلیس با کمک به جذب عناصری مثل پتاسیم در افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی مؤثر است. زارعی و همکاران (Zareyi *et al.*, 2020) افزایش فعالیت پمپ H^{+}- ATPase غشای پلاسمایی ریشه در اثر کاربرد سیلیسیم را عامل احتمالی افزایش جذب پتاسیم توسط گیاه معرفی نمودند. همچنین مطالعات، ارتباط نزدیکی بین سیالیت غشا و فعالیت H^{+}- ATPase غشای سلولی را گزارش داده است، به نظر می‌رسد؛ سیلیکون از طریق افزایش سیالیت غشا می‌تواند بر فعالیت این پمپ تاثیر بگذارد (Zareyi *et al.*, 2020). از آن‌جا که سیلیسیم از جمله عناصر کم مصرف می‌باشد میزان کاربرد آن در سطوح کم صورت می‌گیرد، همچنین در تحقیقات مختلف نشان داده شده است که سیلیسیم در مقادیر کم می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی در خصوصیات مختلف گیاهان از جمله عملکرد خیار (*Cucumis sativus* L.) داشته باشد (Shokri *et al.*, 2022). همچنین گزارش شده است این عنصر در شرایط تنش خشکی جذب عناصر اساسی عمده توسط گیاهان را افزایش می‌دهد (Shokri *et al.*, 2022). در مطالعات مختلف گزارش شده است مصرف سالیسیلیک اسید تا ۲۰۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش قابل‌توجه عملکرد ذرت گردیده است (Raghara & Mousavi, 2018). در آزمایشی که توسط صیامی و همکاران (Siame *et al.*, 2017) انجام شد نشان داده شد که کاربرد ۲۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید منجر به افزایش ۱۳/۵ درصدی عملکرد ذرت گردید. در آزمایشی محققان عملکرد و کیفیت کاهو (*Lactuca sativa* L.) را در شرایط کاربرد سالیسیلیک اسید و سیلیس گزارش دادند (Barros *et al.*, 2018). زمانی که سیلیس در زیر کوتیکول برگ تجزیه می‌گردد یک سد دو لایه را ایجاد می‌کند که از دست رفتن آب ممانعت می‌کند (Rea *et al.*, 2022). در پژوهشی گزارش شد که کاربرد سالیسیلیک اسید به همراه سیلیس جذب سیلیس توسط گیاه را افزایش داد. قابل ذکر است (Barros *et al.*, 2020)، افزایش سرعت فتوسنتز پس از کاربرد SA در نتیجه افزایش جذب CO_2 و باز شدن روزنه است. این به این دلیل است که SA قادر به باز کردن روزنه‌ها شود که در نتیجه آبسیزیک اسید (ABA) بسته شده است و به‌طور موثر، مهار بیوسنتز اتیلن را سبب شود. تجمع Si باز بودن روزنه‌ها و در نتیجه دریافت بیشتر CO_2 را تداوم می‌بخشد و در نتیجه افزایش عملکرد مؤثر است (Barros *et al.*, 2020).

شاخص برداشت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثر اصلی الگوی کشت در سطح پنج درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار بود اما سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۳). بیشترین میزان شاخص برداشت در تیمار کشت مخلوط C_{50}:M_{50} (۴۹/۹ درصد) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار کشت خالص ذرت C_{100} نداشت. هرچند تیمارهای کشت مخلوط C_{80}:M_{60} و C_{80}:M_{40} از نظر شاخص برداشت تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی کمترین شاخص برداشت (۴۶/۹ درصد) در تیمار کشت مخلوط C_{80}:M_{60} مشاهده شد که تفاوت کمترین و بیشترین میزان این تیمارها برابر با ۶ درصد می‌باشد (جدول ۶). عدم تفاوت معنی‌دار در کاربرد کود و تنش بر شاخص برداشت ذرت را می‌توان ناشی از تغییر هماهنگ عملکرد بذر و عملکرد بیولوژیک تحت این تیمارها دانست. در تیمار کشت مخلوط ۵۰ درصد ماش و ۵۰ درصد ذرت اختصاص آسیمیلات‌ها به دانه بیشتر از اندام رویشی بوده است و در نتیجه میزان شاخص برداشت در آن بالاتر از سایر تیمارها با وجود عملکرد بالاتر می‌باشد.که دلیل آن را می‌توان رقابت درون گونه‌ای کمتر بین بوته‌های ذرت در این نسبت کاشت و اختصاص منابع به تعداد بوته‌های ذرت کمتر و در نتیجه کارایی بالاتر آن‌ها در انتقال به اندام‌های بذری می‌باشد. این نتایج با نتایج به‌دست آمده از آزمایش قنبری و همکاران (Ghanbari *et al.*, 2010) مطابقت داشت. این محققان نیز شاخص برداشت بالاتری در تیمارهایی که ذرت و کدو (*Cucurbita* sp.) تراکم برابری داشتند (۵۰ درصد ذرت و ۵۰ درصد کدو) نسبت به حالت تک‌کشتی و مخلوط افزایشی مشاهده کردند. کلانتری خاندانی و همکاران (Kalantari khandani *et al.*, 2018) در آزمایش خود برتری شاخص برداشت ذرت را در کشت مخلوط ذرت و سویا (*Glycine max* L.) نسبت به تک‌کشتی ذرت گزارش دادند آن‌ها بیان کردند که ذرت توانایی بالایی در جذب نیتروژن داشته و کارایی جذب و استفاده نیتروژن این گیاه بالا می‌باشد. از طرفی، سویا از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن باعث فراهمی بهتر این عنصر غذایی شده و از این طریق منجر به بهبود شاخص برداشت ذرت در کشت مخلوط می‌گردد. کشت مخلوط گونه‌های مختلف، با توجه به وجود اختلافاتی نظیر ارتفاع بوته، می‌تواند از طریق جذب بیشتر نور موجب افزایش عملکرد و بهبود شاخص برداشت گونه‌های موجود در مخلوط شود.

اجزای عملکرد ذرت: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی در سطح پنج درصد و الگوی کشت در سطح احتمال یک درصد بر وزن صد دانه معنی‌دار بودند ولی دیگر تیمارها بر روی این شاخص معنی‌دار نبودند (جدول ۳). مطابق با نتایج مقایسه میانگین بیشترین میزان وزن صد دانه (۳۱/۴ گرم) در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد که نسبت به تیمار تنش به میزان پنج درصد بیشتر بود (جدول ۵). همچنین، نتایج مقایسه میانگین صفات برای نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نشان داد بیشترین و کمترین میزان وزن صد دانه به‌ترتیب در تیمار کشت مخلوط C_{50}:M_{50} (۳۲/۱ گرم) و C_{80}:M_{60} (۲۹/۲ گرم) به‌دست آمد (جدول ۶).

همان‌طور که در جدول نشان داده شده است فقط اثر اصلی تنش خشکی در سطح یک درصد بر تعداد ردیف در بلال معنی‌دار بود ولی دیگر اثرات بر روی این شاخص تاثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). بیشترین تعداد ردیف در بلال (۱۳/۹ عدد) مربوط به تیمار آبیاری کامل بود. همچنین، کمترین تعداد ردیف در بلال (۱۲/۵ عدد) نیز در تیمار تنش خشکی مشاهده شد (جدول ۵) که تفاوت آن‌ها برابر با ۱۱ درصد می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در سطح یک درصد بر تعداد دانه در ردیف معنی‌دار بود اما سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین صفات، با اعمال تنش بر تعداد دانه در ردیف کاسته شد که تفاوت تیمارهای عدم تنش و تنش برای تعداد دانه در ردیف برابر با ۱۶ درصد می‌باشد (جدول ۵). بیشترین تعداد دانه در ردیف در تیمار کشت مخلوط C_{50}:M_{50} (۴۴/۱ عدد) گزارش شد. هرچند تیمارهای کشت مخلوط C_{80}:M_{60} و C_{80}:M_{40} از نظر تعداد دانه در ردیف تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی کمترین (۳۵/۵ عدد) در تیمار کشت مخلوط C_{80}:M_{60} مشاهده شد که تفاوت کمترین و بیشترین میزان این تیمارها برابر با ۲۴ درصد می‌باشد (جدول ۶).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثرات اصلی تنش خشکی و الگوی کشت در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار بودند ولی دیگر تیمارها بر روی این شاخص معنی‌دار نبودند (جدول ۳). مطابق با نتایج مقایسه میانگین، بیشترین تعداد دانه در بلال (۵۷۸ عدد) در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد که نسبت به تیمار تنش به میزان ۲۹ درصد بیشتر بود (جدول ۵). همچنین، نتایج مقایسه میانگین صفات برای الگوی کشت نشان داد بیشترین و کمترین تعداد دانه در بلال به‌ترتیب در تیمار کشت مخلوط $C_{50\%}$:$M_{50\%}$ (۶۰۴ عدد) و C_{80}:M_{60} (۴۵۸ گرم) به‌دست آمد (جدول ۶).

همان‌طور که در جدول نشان داده شده است فقط اثر اصلی الگوی کشت در سطح یک درصد بر تعداد بلال معنی‌دار بود ولی دیگر اثرات بر روی این شاخص تاثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). بیشترین تعداد بلال (۷/۵ عدد) مربوط به تیمار کشت خالص ذرت C_{100} بود. همچنین، کمترین تعداد ردیف در بلال (۳/۹ عدد) نیز در تیمار کشت مخلوط C_{50}:M_{50} مشاهده شد (جدول ۶) که تفاوت آن‌ها برابر با ۹۲ درصد می‌باشد.

کاهش میزان اجزای عملکرد ذرت تحت تنش خشکی توسط محققین مختلف گزارش شده است (Mojadam & Modhej, 2012; Miri *et al*., 2016). اسکندری همکاران (Eskandari *et al*., 2019) اظهار داشتند که اثر کاهش فراهمی آب بر وزن هزار دانه بیشتر از سایر اجزای عملکرد دانه بود به طوری که در شرایط تنش نسبت به حالت آبیاری کامل بر تمامی اجزای عملکرد ذرت مشاهده شد. ضیایی و همکاران (Ziyai *et al*., 2015) در آزمایش خود بیشترین میزان وزن صد دانه ذرت را در مخلوط با لوبیای خنجری، قرمز و لوبیا سبز گزارش دادند. این محققین اظهار داشتند که رقابت درون‌گونه‌ای بیشتر و نفوذ کمتر نور به تاج پوشش گیاهی یکی از دلایل پایین بودن وزن صد دانه در تک کشتی ذرت باشد. همچنین اسلامی خلیلی و همکاران (Eslami Khalili *et al*., 2011) در بررسی عملکرد و اجزای عملکرد دو گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) و باقلا (*Vicia faba* L.) بالاترین اجزای عملکرد را در تیمارهای جایگزینی گزارش دادند. کلانتری خاندانی و همکاران (Kalantari khandani *et al*., 2018) بیشترین میزان وزن صد دانه ذرت را در کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت و ۵۰ درصد سویا گزارش دادند. این محققین اظهار داشتند که احتمالاً در این ترکیب تیماری رقابت بین گونه‌ای در کمترین میزان خود بوده و میزان کارایی استفاده از نور و سایر عناصر محیطی افزایش یافته و وزن صد دانه نیز بیشتر شده است. همچنین در کشت‌های مخلوط، رقابت برون گونه‌ای سویا نسبت به رقابت درون گونه‌ای ذرت کاهش یافته و فضای بیشتری برای رشد ذرت فراهم شده است؛ در نتیجه منجر به افزایش اجزای عملکرد ذرت گردیده است.

نتایج ماش

عملکرد بیولوژیک: مطابق با نتایج تجزیه واریانس جدول ۷ مشخص شد که اثرات اصلی تنش خشکی، الگوی کشت و انواع کود در سطح یک درصد و برهمکنش‌های تنش خشکی × کود، تنش خشکی × الگوی کشت و کود × الگوی کشت در سطح یک درصد و برهمکنش سه عامل تنش خشکی × کود × الگوی کشت در سطح پنج درصد بر عملکرد بیولوژیک ماش معنی‌دار بودند (جدول ۷). بیشترین عملکرد بیولوژیک (۹۶۸۰ کیلوگرم در هکتار) متعلق به تیمار تک‌کشتی ماش، کود ترکیبی نانو Si + Sa و آبیاری کامل بود (جدول ۸). کمترین (۳۲۶۰ کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار کشت مخلوط C_{50}:M_{50} و C_{80}:M_{60}، عدم مصرف کود و تنش خشکی به‌دست آمد که تفاوت بیشترین و کمترین میزان این شاخص برابر با ۱۹۷ درصد

می‌باشد (جدول ۸). حیدری و همکاران (Heydari *et al*., 2019) نیز افزایش عملکرد بیولوژیک ماش را تحت کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط عدم تنش خشکی نسبت به عدم کاربرد آن در شرایط تنش خشکی گزارش دادند. همچنین این محققان گزارش دادند که تحت شرایط تنش کاربرد سلیسیلیک اسید عملکرد زیستی ماش را بهبود داد. نتایج این تحقیق نیز همانند تحقیق حیدری و همکاران (Heydari *et al*.,2019) نشان داد که در شرایط تنش خشکی کاربرد سالیسیلیک اسید، سیلیس و ترکیب این دو منجر به بهبود عملکرد زیستی ماش نسبت به حالت عدم کاربرد کود و در شرایط تنش گردید. لطفی و همکاران (Lotfi *et al*., 2018) نیز افزایش عملکرد بیولوژیک را در شرایط کاربرد سالیسیلیک اسید گزارش دادند همچنین این محققان بیان داشتند که اثر سیلیس تنها در شرایط تنش شدید مشاهده گردید. کاربرد نانو Sa و Si با انتقال مجدد بیشتر مواد جذب شده تحت تنش و در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک همراه است (Aldesuquy *et al*., 2012). نیاواد و همکاران (Nyawade *et al*., 2020) گزارش دادند که سیلیس با افزایش تولید فتوآسیمیلات‌ها منجر به افزایش تجمع مواد و در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک گیاهان در کشت مخلوط سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) و لگوم‌ها گردید. این محققان اظهار داشتند که در تک‌کشتی سیب‌زمینی تیمارهایی که در آن‌ها سیلیس اعمال نشده بود منجر به توقف رشد شاخ و برگ و همچنین محدودیت رشد برگ‌ها گردید که این عوامل منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک سیب‌زمینی شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مربوط به ذرت تحت تاثیر تیمارهای مختلف

Table 3- Variance analysis of different traits of maize influenced by different treatments

منابع تغییر S.O. V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات M.S عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن ۱۰۰ دانه 100-seeds weight	تعداد ردیف بلال Number of rows	تعداد دانه در ردیف Seeds in a row	تعداد دانه در بلال Seeds in corn cobs	تعداد بلال Number of corn cobs
بلوک Block	2	3608769^{ns}	340125^{ns}	2.49^{ns}	0.31^{ns}	0.69^{ns}	18.38^{ns}	582^{ns}	0.29^{ns}
تنش خشکی (Ir) Drought stress (Ir)	1	789830003^{**}	179957790^{**}	0.67^{ns}	51.92^{*}	45.93^{**}	809^{**}	412126^{**}	0.01^{ns}
خطای (Ir) Error (Ir)	2	3323639	731470	1.73	1.52	0.24	0.98	109	0.16
کود (f) Fertilizer (f)	3	9549952^{*}	2323501^{**}	16.53^{ns}	1.98^{ns}	0.34^{ns}	1.11^{ns}	900^{ns}	0.29^{ns}
Ir × F	3	7722948^{ns}	1481817^{*}	2.20^{ns}	0.69^{ns}	0.05^{ns}	18.52^{ns}	4270^{ns}	0.01^{ns}
خطای f (Ir) Error (Ir) f	12	2636086	381331	13.14	3.47^{s}	2.03	16.80	3511	0.23
الگوی کشت (pa) Planting arrangement	3	404648109^{**}	89616088^{**}	39.63^{*}	36.66^{**}	2.23^{ns}	381^{**}	107796^{**}	54.19^{**}
Ir ×pa	3	18168620^{**}	3500032^{**}	11.73^{ns}	2.47^{ns}	0.01^{ns}	10.72^{ns}	466^{ns}	0.01^{ns}
F × pa	9	1092637^{ns}	454285^{ns}	4.31^{ns}	0.31^{ns}	0.23^{ns}	2.87^{ns}	414^{ns}	0.04^{ns}
Ir × F × pa	9	3779394^{*}	1006908^{*}	0.99^{ns}	0.25^{ns}	0.07^{ns}	12.29^{ns}	1908^{ns}	0.01^{ns}
خطای کل Error	48	1724746	446029	13.51	2.95	0.96	28.11	2886	0.21
ضریب تغییرات C.V(٪)	-	7.0	7.4	7.6	5.6	7.4	13.7	10.5	7.8

ns, *, **به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, *, ** are non significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively

جدول ٤- اثر متقابل سه‌گانه تیمارهای مختلف بر صفات مختلف ذرت

Table 4- The triple interaction of different treatments on different traits of maiz

کود Fertilizer	الگوی کشت Planting arrangement	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)
		آبیاری کامل Full irrigation		تنش خشکی Drought stress	
Control	C_{100}	26640[b]	12912[b]	18720[fg]	9039[e-g]
	C_{80}:M_{40}	20100[d-f]	9600[d-f]	14170[i-k]	6840[kl]
	C_{80}:M_{60}	19500[ef]	8850[e-g]	12800[kl]	6350[lm]
	C_{50}:M_{50}	16830[gh]	8239[g-j]	11021[l]	5290[m]
Sa	C_{100}	27410[b]	13212[b]	21758[cd]	10270[cd]
	C_{80}:M_{40}	22100[cd]	10210[cd]	15720[h-j]	7200[j-l]
	C_{80}:M_{60}	21200[c-e]	9560[d-f]	14580[i-k]	6680[kl]
	C_{50}:M_{50}	15684[h-j]	7685[h-k]	14080[i-k]	6677[kl]
Nano Si	C_{100}	27610[b]	13308[b]	21981[cd]	10375[cd]
	C_{80}:M_{40}	22063[cd]	10480[cd]	15638[h-j]	7600[h-k]
	C_{80}:M_{60}	21011[c-e]	9770[c-e]	14170[i-k]	6840[kl]
	C_{50}:M_{50}	16130[hi]	8310[g-i]	13658[jk]	6897[kl]
Nano Si + Sa	C_{100}	29995[a]	14758[a]	22093[cd]	10428[cd]
	C_{80}:M_{40}	22292[c]	10700[c]	16130[hi]	7700[h-k]
	C_{80}:M_{60}	21500[c-e]	9940[c-e]	14500[i-k]	6920[kl]
	C_{50}:M_{50}	16978[gh]	8690[f-h]	14238[i-k]	7304[i-l]

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means, in each column and for each factor, that have at least one similar letter, according to the LSD test at the level of 5% probability are not significantly different.

جدول ۵- اثر اصلی رژیم آبیاری بر صفات مختلف ذرت

Table 5- The main effect of irrigation regime on different maize traits

تنش خشکی Drought stress	وزن ۱۰۰ دانه 100- seeds weight (g)	تعداد ردیف بلال Number of rows	تعداد دانه در ردیف Seeds in a row	تعداد دانه در بلال Seeds in corn cobs
آبیاری کامل Full irrigation	31.4[a]	13.9[a]	41.6[a]	578[a]
تنش خشکی Deficit irrigation	29.9[b]	12.5[b]	35.8[b]	447[b]

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means, in each column and for each factor, that have at least one similar letter, according to the LSD test at the level of 5% probability are not significantly different.

جدول ٦- اثر اصلی الگوی کشت بر صفات مختلف ذرت

Table 6- The main effect of planting arrangement on different maize traits

کشت مخلوط Intercropping	شاخص برداشت Harvest index (%)	وزن ۱۰۰ دانه 100- seeds weight (g)	تعداد ردیف بلال Number of rows	تعداد دانه در ردیف Seeds in a row	تعداد بلال Number of corn cobs
C_{100}	48.0[ab]	30.2[b]	39.3[b]	519[b]	7.5[a]
C_{80}:M_{40}	47.6[b]	31.1[b]	36.0[c]	468[c]	6.1[b]
C_{80}:M_{60}	46.9[b]	29.2[c]	35.5[c]	458[c]	6.1[b]
C_{50}:M_{50}	49.9[a]	32.1[a]	44.1[a]	604[a]	3.9[c]

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means, in each column and for each factor, that have at least one similar letter, according to the LSD test at the level of 5% probability are not significantly different.

عملکرد دانه: مطابق با نتایج تجزیه واریانس جدول ۷ مشخص شد که اثرات اصلی تنش خشکی، الگوی کشت و انواع کود در سطح یک درصد و برهمکنش‌های تنش خشکی × کود و تنش خشکی × الگوی کشت در سطح یک درصد و برهمکنش سه عامل تنش خشکی × کود × الگوی کشت در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه ماش معنی‌دار بودند (جدول ۷). بیشترین عملکرد دانه ماش (۲۵۲۱

کیلوگرم در هکتار) متعلق به تیمار تک‌کشتی ماش، کود ترکیبی Si + Sa و آبیاری کامل بود (جدول ۸). کمترین (۸۳۳ کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار کشت مخلوط $C_{80}:M_{40}$، عدم مصرف کود و تنش خشکی به‌دست آمد که تفاوت بیشترین و کمترین میزان این شاخص برابر با ۲۰۳ درصد می‌باشد (جدول ۸). آمیور و همکاران (Amiour *et al*., 2012) بیان داشتند که عوامل ایجادکننده تنش منجر به بسته شدن روزنه‌ها می‌شود، در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی در این شرایط کاهش می‌یابد و در نهایت کاهش فتوسنتز بر فرآیندهای رشد دانه تأثیر می‌گذارد.

کاربرد سالیسیلیک اسید از طریق تأثیر بر مریستم‌های زایشی، القاء گلدهی، افزایش تقسیم و تمایز سلولی موجب بهبود عملکرد گیاه ماش شده است (Heydari *et al*.,2019). پژوهشگران شرح دادند که این نتیجه در اثر نگهداری بیشتر آب و شکل‌گیری بهتر اندام‌های زایشی در شرایط کاربرد سالیسیلیک اسید حاصل گردیده است (Heydari *et al*., 2019). کائور و همکاران (Kaur *et al*., 2005) گزارش کردند که فعالیت مخزن در گیاهان نخود تحت تأثیر پرایمینگ بذر با سالیسیلیک، گیاهان نخود تحت تأثیر پرایمینگ بذر با سالیسیلیک متابولیسم ساکارز مانند ساکارز سینتاز، اینورتازها و ساکارز فسفات سینتاز در مقایسه با شاهد بیشتر بود که در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه گردید. لطفی و همکاران (Lotfi *et al*., 2018) گزارش دادند که استفاده از ترکیب سالیسیلیک اسید و سیلیس باعث تسریع رشد دانه ماش و تولید دانه‌های بزرگ‌تر در سطوح مختلف تنش گردید. اثر مفید SA بر عملکرد دانه ممکن است به دلیل جابه‌جایی فتواسیمیلات‌های بیشتر به دانه‌ها در طی پر شدن دانه باشد (Aldesuqudy *et al*., 2012). نیاواد و همکاران (Nyawade *et al*., 2020) در آزمایش خود در بررسی کشت مخلوط سیب‌زمینی و لگوم‌ها بیان کردند که افزایش جذب آب با واسطه سیلیس در شرایط کمبود آب، گیاهان سیب‌زمینی را قادر می‌سازد تا دوره‌های کوتاه تنش آبی را تحمل کنند و اثرات مضر آن بر عملکرد غده را به حداقل برساند.

شاخص برداشت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی تنش خشکی در سطح پنج درصد و الگوی کشت در سطح یک درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار بود اما سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۷). مقایسه میانگین صفات نشان داد با اعمال تنش از میزان شاخص برداشت کاسته شد. بیشترین میزان شاخص برداشت در آبیاری کامل (۲۸/۰۴ درصد) حاصل شد که نسبت به تیمار تنش به میزان ۴ درصد دارای شاخص برداشت بیشتری بود (شکل ۲). همچنین، بیشترین میزان شاخص برداشت در تیمار کشت مخلوط $C_{80}:M_{60}$ (۲۹/۷۱ درصد) به‌دست آمد. کمترین (۲۵/۸۷ درصد) در تیمار کشت مخلوط $C_{50}:M_{50}$ مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار تک‌کشتی ماش نداشت. تفاوت کمترین و بیشترین میزان این تیمارها برابر با ۱۵ درصد می‌باشد (شکل ۳). همانطور که در نتایج این آزمایش گزارش شده است مشاهده می‌گردد که تنش خشکی اثر کاهش بیشتری بر روی عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک داشت و بنابراین کاهش شاخص برداشت در این شرایط منطقی به نظر می‌رسد. سایر محققین میز کاهش شاخص برداشت ماش را تحت شرایط تنش خشکی گزارش دادند (Moradi *et al*., 2008; Kamalvandi & Mirshekari, 2013). در این آزمایش مشاهده شده است که با افزایش تعداد بوته ماش تا ۶۰ درصد بر میزان شاخ برداشت این گیاه افزوده شده است و بعد از آن یعنی در تک‌کشتی از این میزان کاسته شده است که به نظر می‌رسد در این حالت با افزایش تعداد بوته و ایجاد رقایت درون گونه‌ای از شاخص برداشت ماش کاسته شده است. از طرفی تعداد بوته کمتر در کشت مخلوط ۵۰ درصد ماش و ۵۰ درصد ذرت منجر به کاهش شاخص برداشت گردیده است. قلی‌نژاد و همکاران (Gholi Nejad *et al*., 2018) نیز در آزمایش خود اظهار داشتند که در تیمارهای کشت‌های کشت مخلوط ماش به همراه ذرت، شاخص برداشت بیشتر از تک‌کشتی بود. این محققین اظهار داشتند که تراکم کمتر ماش در کشت‌های مخلوط منجر به افزایش فضا و به این ترتیب کاهش رقابت درون گونه‌ای بین بوته‌ها گردید و توان فتوسنتزی برای بوته‌ها بعد از گلدهی افزایش یافت که منجر به توزیع بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها گردید و نهایتاً شاخص برداشت بیشتر را به همراه داشته است. عدم معنی‌داری تیمارهای کودی بر شاخص برداشت را می‌توان به دلیل واکنش یکسان این تیمارها بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه دانست.

اجزای عملکرد ماش: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی، الگوی کشت در سطح یک درصد و انواع کود در سطح پنج درصد و همچنین اثرات متقابل تنش خشکی × الگوی کشت در سطح یک درصد بر وزن هزاردانه ماش معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین صفات نشان داد که در شرایط آبیاری کامل هرچند تیمارهای $C_{8\%}:M_{60}$ و $C_{50}:M_{50}$ از لحاظ وزن هزاردانه تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی بیشترین میزان این شاخص در شرایط آبیاری کامل و کشت مخلوط $C_{50}:M_{50}$ (۴۸/۲۵ گرم) به‌دست آمد. کمترین میزان این شاخص نیز در شرایط تنش خشکی و در تیمار کشت خالص ماش (۳۷/۱۳ گرم) حاصل شد که تفاوت بیشترین و کمترین میزان این شاخص برای تیمارهای مختلف برابر با ۳۰ درصد می‌باشد (جدول ۹).

اثرات اصلی الگوی کشت و تنش خشکی در سطح یک درصد و برهمکنش آن‌ها در سطح یک درصد بر تعداد دانه در غلاف ماش معنی‌دار بودند (جدول ۷). مقایسه میانگین صفات نشان داد بیشترین تعداد دانه در غلاف در شرایط آبیاری کامل و کشت خالص ماش (۸/۴۱ عدد) به‌دست آمد و کمترین میزان این شاخص در تیمار تنش خشکی در شرایط کشت مخلوط $C_{80}:M_{40}$ (۵/۶۹ عدد) گزارش شد

که تفاوت بیشترین و کمترین میزان این شاخص برابر با ۴۸ درصد بود (جدول ۹).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس دادهها اثر اصلی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل تنش خشکی × الگوی کشت مخلوط بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بودند ولی دیگر تیمارها بر روی این شاخص معنی‌دار نبودند (جدول ۷). مطابق با نتایج مقایسه میانگین، بیشترین تعداد غلاف در بوته (۵۵/۸۲ عدد) در تیمار آبیاری کامل و کشت مخلوط $C_{80\%}:M_{40\%}$ به‌دست آمد که نسبت به تیمار تنش و کشت خالص ماش (۲۸/۱۶ عدد) به میزان ۹۸ درصد غلاف در بوته بیشتری را دارا بود (جدول ۹).

مطابق با نتایج تجزیه واریانس جدول ۷ مشخص شد که اثرات اصلی تنش خشکی و الگوی کشت در سطح یک درصد و برهمکنش‌های تنش خشکی × الگوی کشت در سطح یک درصد بر تعداد شاخه اصلی ماش معنی‌دار بودند (جدول ۷). بیشترین تعداد شاخه اصلی (۸/۳۰ عدد) متعلق به تیمار کشت مخلوط $C_{50\%}:M_{50\%}$ و آبیاری کامل بود. کمترین (۴/۸۳ عدد) نیز در تیمار کشت مخلوط $C_{80}:M_{60}$ و تنش خشکی به‌دست آمد که تفاوت بیشترین و کمترین میزان این شاخص برابر با ۷۲ درصد می‌باشد (جدول ۹). در این آزمایش در شرایط رقابت درون گونه‌ای زیاد بین بوته‌های ماش در تک‌کشتی و محدودیت آب کاهش تعداد غلاف در این شرایط منطقی به نظر می‌رسد. سایر محققین نیز کاهش تعداد غلاف را در بررسی کشت‌های مخلوط جو–نخود (Hamzei & Seyedi, 2013) و ذرت و سویا (Undie *et al*., 2012) در اثر رقابت شدید در جذب منابع در شرایط کاهش منابع در دسترس گزارش دادند. کاهش میزان آب مورد نیاز در هنگام رشد رویشی باعث کاهش رشد عمومی و طول دوره رشد گیاه و تشکیل تعداد دانه کمتر می‌شود و از طرف دیگر کمبود مواد قابل انتقال در تیمار تنش خشکی در مرحله رویشی باعث تشکیل نشادن دانه در غلاف می‌شود (Zhu, 2002). امیری ده احمدی و همکاران (Amiri Deh Ahmadi *et al*., 2010) گزارش دادند که تنش خشکی باعث کاهش تعداد دانه در بوته نخود شد و بیشترین کاهش در زمان اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی به‌دست آمد. آن‌ها دلیل کاهش تعداد دانه را عدم تأمین مواد فتوسنتزی لازم برای رشد جنین و تکامل بذر گزارش کردند. محدودیت رطوبت در زمان گلدهی و غلافدهی موجب کاهش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه چروکیده‌شدن دانهها می‌شود. فراهم کردن رطوبت در مرحله گلدهی باعث طولانی‌تر شدن دوره پُرشدن دانه شده و در نتیجه مواد فتوسنتزی بیشتری برای اختصاص به دانهها فراهم می‌شود (Ullah *et al*., 2002). اسکندری و همکاران (Eskandari *et al*., 2019) در آزمایش خود کاهش وزن هزار دانه ماش را تا ۱۷ درصد تحت تنش خشکی گزارش دادند. محققین علت کاهش وزن دانه ماش در اثر تنش کمبود آب را کاهش طول دوره پر شدن دانه و کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه دانسته‌اند (Noryani, 2013). تفاوت در ارتفاع گیاهان موجود در کشت مخلوط می‌تواند باعث افزایش جذب نور توسط پوشش گیاهی و در نتیجه افزایش تولید مواد فتوسنتزی و اختصاص آن‌ها به دانهها شود (Banik *et al*., 2006). کاهش تعداد شاخه جانبی به موازات افزایش شدت تنش خشکی می‌تواند در راستای کاهش حجم رویشی گیاه برای کاهش تبخیر و تعرق باشد. اما در تیمارهای مخلوط عدم تداخل آشیان اکولوژیکی دو گیاه موجب دسترسی بیش‌تر ریشه به رطوبت شده و اثرات کاهندگی تنش خشکی را در گیاهان کم‌تر کرده است (Fallah *et al*., 2018) به طوری که در کشت مخلوط ۵۰ درصد ماش و ۵۰ درصد ذرت میزان رقابت بین بوته‌ها کمتر از سایر نسبت‌های کشت بود. در بررسی کشت مخلوط شنبلیله با سیاهدانه نشان داده شده است که شنبلیله در کشت مخلوط با سیاهدانه نسبت به کشت خالص از تعداد شاخه‌های جانبی بیش‌تری برخوردار بود و دلیل این برتری، استفاده بهتر از منابع توسط کشت مخلوط عنوان شده است (Fallah *et al*., 2018).

نسبت برابری زمین (Land Equivalent Ratio): با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی کود و الگوی کشت در سطح یک درصد و اثرات متقابل تنش خشکی × الگوی کشت در سطح یک درصد و همچنین اثر سه‌گانه تنش خشکی × کود × الگوی کشت در سطح پنج درصد برای شاخص نسبت برابری زمین معنی‌دار بودند (جدول ۱۰). نتایج مقایسه صفات نشان داد بیشترین مقدار نسبت برابری زمین در شرایط آبیاری کامل و کشت مخلوط $C_{80}:M_{60}$ و با حضور تیمار کودی نانو Si + Sa (۱/۵۷) گزارش شد. همچنین، کمترین میزان این شاخص در تیمار شرایط تنش و کشت مخلوط $C_{50}:M_{50}$ و شاهد بدون کود (۱/۱۰) مشاهده شد که تفاوت بیشترین و کمترین میزان این شاخص برابر با ۴۳ درصد می‌باشد (جدول ۱۱). در تمامی تیمارهای کشت مخلوط میزان شاخص نسبت برابری زمین هم در شرایط تنش خشکی و هم آبیاری کامل بالاتر از یک بود که نشان‌دهنده‌ی مزیت کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. تیمار شاهد (بدون کاربرد کود) کشت مخلوط جایگزینی (ذرت ۵۰٪ و ماش ۵۰٪) نسبت برابری زمین بیشتری داشت و با کاربرد کود به‌خصوص کود نانو کشت مخلوط افزایشی نسبت برابری زمین بالاتری ایجاد نمود، بنابراین می‌توان با استفاده از نانوکودها تراکم و عملکرد را حتی در شرایط کمبود آب افزایش داد. افزایش جذب عناصر غذایی و آب به‌وسیله سیستم ریشه‌ای متفاوت در کشت مخلوط (Stolz & Nadeau, 2014) در شرایط تنش خشکی باعث شد که LER افزایش یابد که با نتایج سایر محققین مطابقت داشت (Mabudi & Zehtab Salmasi, 2017; Mohavieh Assadi *et al*., 2020).

جدول ۷- تجزیه واریانس صفات مربوط به ماش تحت تاثیر تیمارهای مختلف

Table 7- Variance analysis of different traits of Mung bean influenced by different treatments

منابع تغییر S.O. V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات M.S						
		عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000-seeds weight	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	شاخه اصلی Branch
بلوک Block	2	206365^{ns}	7485^{ns}	0.56^{ns}	0.72^{ns}	0.24^{ns}	2.32^{ns}	0.38^{ns}
تنش خشکی (Ir) Drought stress (Ir)	1	62568333**	5829233**	33.84*	953.19**	52.22**	39.53^{ns}	40.82**
خطای (Ir) Error (Ir)	2	248038	17136	0.40	2.34	0.08	10.76	0.41
کود (f) Fertilizer (f)	3	772161**	122248**	10.09^{ns}	34.01*	0.49^{ns}	11.40^{ns}	0.60^{ns}
Ir × F	3	1116933**	84222**	3.02^{ns}	9.82^{ns}	0.45^{ns}	11.59^{ns}	0.14^{ns}
خطای f (Ir) Error (Ir) f	12	127486	13139	3.19	7.25	0.54	15.26	0.23
الگوی کشت(Pa) Plamting arrangement	3	45853056**	2900627**	64.71**	62.99**	8.73**	2086**	21.94**
Ir ×Pa	3	4183594**	259890**	5.98^{ns}	50.66**	2.04**	146.02*	2.47**
F × Pa	9	545623**	22024^{ns}	3.20^{ns}	2.79^{ns}	0.09^{ns}	7.20^{ns}	0.11^{ns}
Ir × F × Pa	9	333606*	29553*	1.00^{ns}	4.45^{ns}	0.03^{ns}	14.64^{ns}	0.07^{ns}
خطای کل Error	48	153051	13251	3.39	5.70	0.27	19.30	0.29
ضریب تغییرات (٪) C.V		7.5	8.1	6.7	5. 6	7.4	11.1	8.5

ns ,* ,**به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, *, ** are non significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively

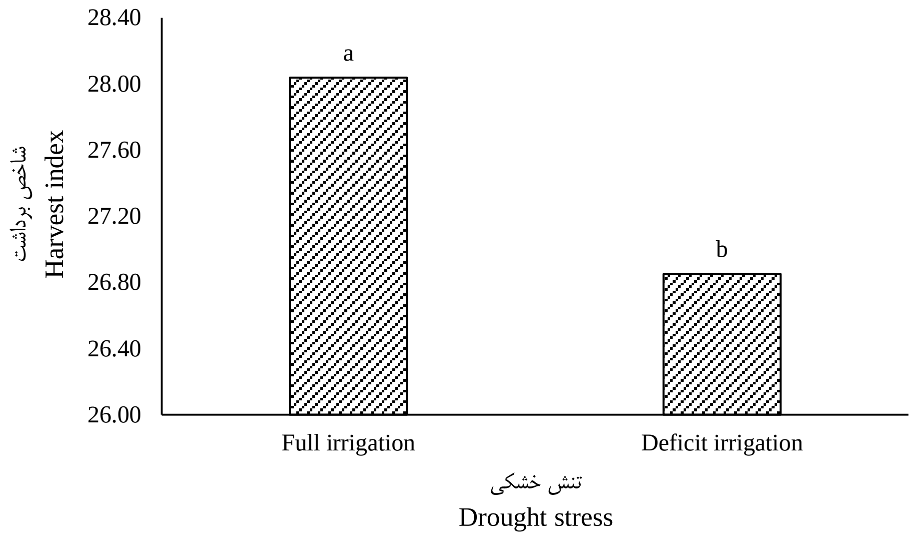
جدول ۸- اثر متقابل سه‌گانه تیمارهای مختلف بر صفات مختلف ماش

Table 8- The triple interaction of different treatments on different traits of Mung bean

کود Fertilizer	الگوی کشت Planting arrangement	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})
		آبیاری کامل Full irrigation		تنش خشکی Drought stress	
Control	C_{80}:M_{40}	4760^{g-k}	1300^{g-j}	3332^{pq}	833^{o}
	C_{80}:M_{60}	4890^{f-j}	1430^{e-g}	3260^{q}	898^{m-o}
	C_{50}:M_{50}	4970^{f-h}	1360^{f-i}	3260^{q}	840no
	M_{100}	7887^{b}	2160^{b}	5500^{d-f}	1399^{e-h}
Sa	C_{80}:M_{40}	4608^{i-m}	1292^{g-j}	4147^{k-o}	1100^{kl}
	C_{80}:M_{60}	5290^{e-h}	1640^{cd}	3940^{n-p}	1093^{kl}
	C_{50}:M_{50}	5660^{c-e}	1500^{d-f}	4200^{k-o}	1000^{l-o}
	M_{100}	8470^{b}	2256^{b}	6028^{cd}	1579^{c-e}
Nano Si	C_{80}:M_{40}	4401^{i-n}	1242^{g-k}	4004^{m-o}	1131^{j-l}
	C_{80}:M_{60}	5380^{e-g}	1650^{cd}	3732^{o-q}	1120^{j-l}
	C_{50}:M_{50}	5660^{cd}	1570^{c-e}	4050^{l-o}	1028^{l-n}
	M_{100}	8360^{b}	2232^{b}	5852^{c-e}	1624^{cd}
Nano Si + Sa	C_{80}:M_{40}	4680^{i-l}	1296^{g-j}	4301^{j-o}	1219^{h-k}
	C_{80}:M_{60}	5380^{e-g}	1710^{c}	4000^{m-o}	1173^{i-l}
	C_{50}:M_{50}	6030^{cd}	1560^{c-e}	4450^{i-n}	1086^{k-m}
	M_{100}	9680^{a}	2521^{a}	6215^{c}	1711^{c}

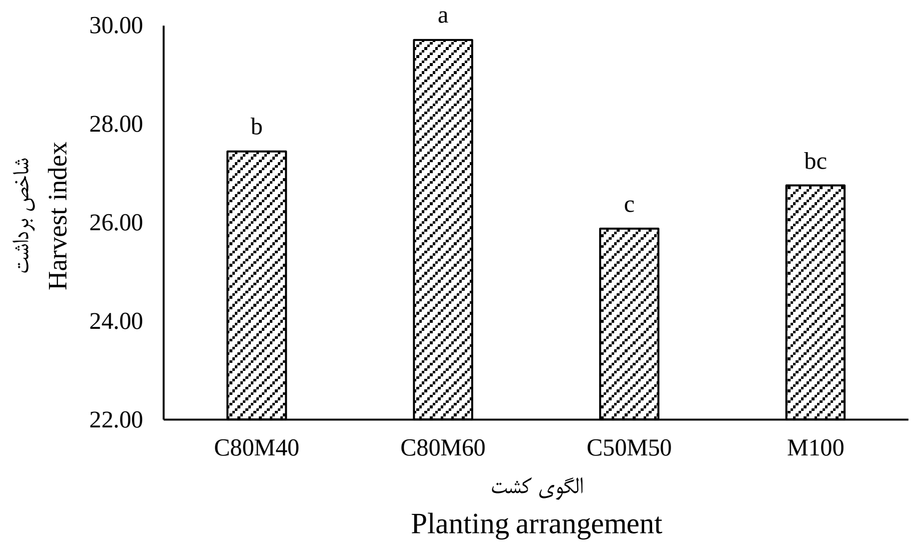
میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means, in each column and for each factor, that have at least one similar letter, according to the LSD test at the level of 5% probability are not significantly different.



شکل ۲- اثر اصلی تنش خشکی بر روی شاخص برداشت ماش

Figure 2- The main effect of drought stress on mung bean harvest index



شکل ۳- اثر اصلی الگوی کشت بر روی شاخص برداشت ماش

Figure 3- The main effect of planting arrangement on mung bean harvest index

برتری نسبت برابری زمین در نسبت‌های مخلوط تحت شرایط تنش نشان‌دهنده بهره‌وری بهتر از رطوبت در کشت مخلوط و تا حدودی کاهش اثرات تنش خشکی می‌باشد (Fallah *et al.*, 2018). تأثیر کاربرد کودهای به‌کار برده شده در آزمایش و جذب بیشتر آن‌ها در کشت مخلوط را در افزایش نسبت برابری زمین در شرایط تنش و آبیاری نمی‌توان نادیده گرفت. سعید و حمدالله (Said & Hamd-Alla, 2018) در آزمایش نشان داده شده که بیشترین میزان نسبت برابری زمین در الگوی کشت مخلوط ۲:۲ ذرت و سویا و کاربرد سالیسیلیک اسید به‌دست آمد. این نتایج همچنین مطابق با نتایج عزیز و همکاران (Aziz *et al.*, 2012) و حمدالله و همکاران (Hamd Alla *et al.*, 2014) بود. نیاواد و همکاران (Nyawade *et al.*, 2020) نیز افزایش قابل توجه LER را در کشت مخلوط سیب‌زمینی با لگوم‌ها همراه با کاربرد سیلیس گزارش دادند. این محققین اظهار داشتند که نسبت‌های برابری زمین ثبت‌شده در سیستم‌های کشت مخلوط بیشتر از یک بود، که نشان می دهد ادغام لگوم‌ها در سیستم‌های کشت مبتنی بر سیب‌زمینی باعث بهبود رشد و عملکرد

محصولات در مخلوط می‌شود. همچنین بیان کردند که شاخص بهره‌وری سیستم مخلوط بیشتر از تک‌کشتی سیب‌زمینی بود، که نشان‌دهنده این موضوع بود که تسهیلات در رقابت بین گونه‌ای بیشتر از رقابت درون گونه‌ای بود (Nyawade *et al*., 2020) و نشان‌دهنده این مطلب که کشت مخلوط منجر به بهره‌وری بیشتر در استفاده از زمین و بهره‌وری منابع می‌گردد (Machiani *et al*., 2018). این توانایی کشت مخلوط با با کاربرد سیلیس با توجه به مقادیر بالاتر LER در اثر کاربرد آن افزایش بافت (Nyawade *et al*., 2020).

بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط نیز از نظر نسبت برابری زمین تفاوت معنی‌داری وجود داشت. تصور می‌شود که افزایش میزان بوته ماش در مخلوط با ذرت در افزایش نسبت برابری زمین مؤثر بوده است. علت بالا بودن نسبت برابری زمین بیش‌تر از یک در شرایط کاربرد بیشتر بقولات را می‌توان تثبیت و جذب نیتروژن در بقولات دانست (Fallah *et al*., 2018). به‌طور کلی برای صفت مذکور مجموع دو گیاه در کشت مخلوط از رابطه مکملی مثبت پیروی می‌کنند.

جدول ۹- اثر متقابل دوگانه تنش خشکی × الگوی کشت بر صفات مختلف ماش

Table 9- Dual interaction of drought stress × planting arrangement on different mung bean traits

تنش خشکی Drought stress	الگوی کشت Planting arrangement	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000- seeds weight (g)	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	شاخه اصلی Branch
آبیاری کامل Full irrigation	C_{80}:M_{40}	44.40^{b}	7.58^{bc}	55.82^{a}	6.14^{c}
	C_{80}:M_{60}	47.65^{a}	7.93^{b}	35.44^{e}	5.60^{d}
	C_{50}:M_{50}	48.25^{a}	7.44^{c}	41.97^{c}	8.30^{a}
	$M_{100\%}$	44.17^{b}	8.41^{a}	31.11^{f}	7.57^{b}
تنش خشکی Deficit irrigation	C_{80}:M_{40}	42.05^{c}	5.69^{e}	47.73^{b}	5.42^{d}
	C_{80}:M_{60}	41.15^{c}	5.88^{e}	37.11^{de}	4.83^{e}
	C_{50}:M_{50}	38.93^{d}	6.32^{d}	40.30^{cd}	6.49^{c}
	M_{100}	37.13^{d}	7.57^{bc}	28.16^{f}	5.66^{d}

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means, in each column and for each factor, that have at least one similar letter, according to the LSD test at the level of 5% probability are not significantly different.

جدول ۱۰- تجزیه واریانس صفات مربوط به نسبت برابری زمین تحت تاثیر تیمارهای مختلف

Table 10 - Analysis of variance of traits related to LER the influence of different treatments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات M.S LER
Blockبلوک	2	0.016^{ns}
Drought stress (Ir) (Ir) تنش خشکی	1	0.002^{ns}
Error (Ir)(Ir) خطای	2	0.013
Fertilizer (f) (f) کود	3	0.13**
Ir × F	3	0.04^{ns}
Error (Ir) f (Ir) f خطای	12	0.014
الگوی کشت (Pn) Planting arrangement	2	0.078**
Ir × Pn	2	0.034**
F × Pn	6	0.001^{ns}
Ir × F × Pn	6	0.006*
Errorخطای کل	32	0.004
C.V(٪) ضریب تغییرات	-	4.80

ns, *, **به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, *, ** are non significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively

جدول ۱۱- اثر متقابل سه‌گانه بر روی شاخص LER

Table 11- Triple interaction on LER

کود Fertilizer	الگوی کشت Planting arrangement	نسبت برابری زمین LER آبیاری کامل Full irrigation	نسبت برابری زمین LER تنش خشکی Drought stress
Control	C_{80}:M_{40}	1.17[hi]	1.35[c-f]
	C_{80}:M_{60}	1.17[hi]	1.35[c-f]
	C_{50}:M_{50}	1.19[g-i]	1.10[i]
Sa	C_{80}:M_{40}	1.34[c-f]	1.41[b-e]
	C_{80}:M_{60}	1.45[bc]	1.35[c-f]
	C_{50}:M_{50}	1.25[f-h]	1.29[fg]
Nano Si	C_{80}:M_{40}	1.35[c-f]	1.43[b-d]
	C_{80}:M_{60}	1.48[ab]	1.35[c-f]
	C_{50}:M_{50}	1.33[d-f]	1.30[ef]
Nano Si + Sa	C_{80}:M_{40}	1.43[b-d]	1.45[bc]
	C_{80}:M_{60}	1.57[a]	1.35[c-f]
	C_{50}:M_{50}	1.40[b-e]	1.34[c-f]

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means, in each column and for each factor, that have at least one similar letter, according to the LSD test at the level of 5% probability are not significantly different

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که به‌طور کلی تنش خشکی باعث کاهش تمامی صفات مورد بررسی گردید. در حالی که کشت مخلوط با افزایش تنوع، تأثیر قابل‌توجهی بر صفات مهم زراعی هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم تنش خشکی داشت. اگرچه میزان عملکرد محصولات در حالت تک‌کشتی بیشتر از کشت‌های مخلوط بود که دلیل آن کاهش تراکم بوته هر یک از گیاهان در کشت مخلوط نسبت به حالت تک‌کشتی آن است اما میزان LER بالاتر از یک در کشت‌های مخلوط نشان‌دهنده بهره‌وری بالاتر از زمین در این الگوهای کاشت نسبت به تک‌کشتی بود. با توجه به این‌که ماش سبب تثبیت بیولوژیکی نیتروژن شده و ذرت نیز از این نیتروژن استفاده بهینه را نموده است، کاشت این دو گیاه در کشت مخلوط سبب بهبود رشد گیاه و بهره‌وری از زمین در ذرت و ماش شده است. در این آزمایش افزایش نسبت ماش تأثیر مطلوبی در افزایش نسبت برابری زمین و در نتیجه بهره‌وری منابع داشت به طوری که بالاترین میزان LER در تیمار مخلوط C_{80}:M_{60} در شرایط عدم تنش و کاربرد نانو Si + Sa به‌دست آمد. به احتمال زیاد، متغیرهای آزمایشی متعدد، مانند تراکم گیاه، گونه‌های کشت مخلوط، تنش و نوع کودهای مورد استفاده بر رابطه بین تنوع درون گونه‌ای در محصولات مخلوط و عملکرد تحت تنش خشکی تأثیر گذاشت. این مطالعه اثر مفید کشت مخلوط ماش با ذرت و کاربرد سیلیس و سالیسیلیک اسید را بر بهره‌وری منابع نشان داد. کاربرد کود نانوذرات سیلیس و سالیسیلیک اسید تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه و بیولوژیک هر دو گیاه و همین‌طور نسبت برابری زمین داشت به طوری که کاربرد این ترکیبات در کنار هم در شرایط تنش منجر به افزایش میزان صفات فوق گردید و از اثرات منفی تنش خشکی بر گیاه کاست. به‌طور کلی، با توجه به این‌که میزان نسبت برابر زمین در شرایط تنش خشکی و آبیاری کامل بیشتر از یک بود بنابراین می‌توان سودمند بودن کشت مخلوط ذرت و ماش را نسبت به تک‌کشتی در هر دو شرایط تنش و عدم تنش گزارش داد. با توجه به نتایج به‌دست آمده جهت دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار و همینطور کاهش اثرات مضر تنش خشکی که عامل اصلی محدودیت تولید در ایران می‌باشد کاربرد نانو کودهایی مانند نانو ذرات سیلیس و تنظیم‌کننده‌های رشد از قبیل سالیسیلیک اسید به همراه الگوهای کشت مخلوط می‌تواند روش کارآمدی در این شرایط باشد.

References

1. Aldesuquy, H. S., Abbas, M. A., Abo-Hamed, A. A., Elhakem, A. H., & Alsokari, S. S. (2012). Glycine betaine and salicylic acid induced modification in productivity of two different cultivars of wheat grown under water stress. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, *8*, 72-89.
2. Alibakhshi, E., & Mirzakhani, M. (2016). Mixed cropping of legumes and maize by the use of urea. *Journal of*

Crop Ecophysiology, *10*(3), 567-583.
3. Alizadeh, A., & Kamali, G. A. (2007). *Water Needs of Plants in Iran*. Imam Reza Publications, Mashhad, Iran.
4. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome*, *300*(9), D05109.
5. Amanullah, R., Khalid, S. H., Khalil, F., Elshikh, M. S., Alwahibi, M. S., Alkahtani, J., Imranuddin, & Imran. (2021). Growth and dry matter partitioning response in cereal‑legume intercropping under full and limited irrigation regimes. *Scientific Reports*, *11*, 12585. https://doi.org/10.1038/s41598-021-92022-4
6. Amanullah, R., Lidman, C., Rubin, D., Aldering, G., Astier, P., Barbary, K., Burns, M. S., Conley, A., Dawson, K. S., Deustua, S. E., Doi, M., Fabbro, S., Faccioli, L., Fakhouri, H. K., Folatelli, G., Fruchter, A. S., Furusawa, H., Garavini, G., Goldhaber, G., Goobar, A., Groom, D. E., Hook, I., Howell, D. A., Kashikawa, N., Kim, A. G., Knop, R. A., Kowalski, M., Linder, E., Meyers, J., Morokuma, T., Nobili, S., Nordin, J., Nugent, P. E., Östman, L., Pain, R., Panagia, N., Perlmutter, S., Raux, J., Ruiz-Lapuente, P., Spadafora, A. L., Strovink, M., Suzuki, N., Wang, L., Wood-Vasey, W. M., & Yasudal. N. (2010). Spectra and Hubble Space Telescope light curves of six type Ia supernovae at 0.511< z < 1.12 and the Unioncompilation. *Journal of Astrophys*, *716*, 712.
7. Amiour, N., Imbaud, S., Clement, G., Agier, N., Zivy, M., Valot, B., Balliau, T., Armengaud, P., Quillere, I., Canas, R., Tercet-Laforgue, T., & Hirel, B. (2012). The use of metabolomics integrated with transcriptomic and proteomic studies for identifying key steps involved in the control of nitrogen metabolism in crops such as maize. *Journal of Experimental Botany*, *63*, 5017-33. https://doi.org/10.1093/jxb/ers186.
8. Amiri Deh Ahmadi, S. R., Parsa, M., & Ganjeali, A. (2010). The effects of drought stress at different phenology stage on morphological traits and yield components of a chickpea (*Cicer arietinum* L.) under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *8*, 301-317. https://doi.org/10.22067/gsc.v8i1.7406
9. Aqaei, P., Weisany, W., Diyanat, M., Razmi, J., & Struik, P. C. (2020). Response of maize (*Zea mays* L.) to potassium nano-silica application under drought stress, *Journal of Plant Nutrition*. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1727508
10. Arouiee, H., Nasseri, M., Neamati, H., & Kafi, M. (2014). Effects of silicon on salinity tolerance in fenugreek (*Trigonella foenum- graecum* L.). *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, *104*, 165-172.
11. Aziz, A., Abou-Elela, M., Usama El-Razek, A. A., & Khalil, H. E. (2012). Yield and its components of maize/soybean intercropping systems as affected by planting time and distribution. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *6*, 238-245.
12. Banik, P., Midya, A., Sarkar, B. K., & Ghase, S. S. (2006). Wheat and chickpea intercropping systems in additive series experiment: advantages and smothering. *Agronomy Journal*, *24*, 324-332.
13. Bargaz, A., Nasielski, J., Isaac, M. E., Jensen, E. S., & Carlsson, G. (2021). Faba bean variety mixture can modulate faba bean–wheat Intercrop Performance Under Water Limitation. *Frontiers in Agronomy*, *3*, 655973. https://doi.org/10.3389/fagro.2021.655973
14. Barros, T. C., De Mello Prado, R., Garcia Roque, C., Ribeiro Barzotto, G., & Wassolowski, C. R. (2018). Silicon and salicylic acid promote different responses in legume plants. *Journal of Plant Nutrition*, *41*, 2116-2125.
15. Bedoussac, L., Journet, E., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E. S., Prieur, L., & Justes, E. (2015). Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*, 911-935. https://doi.org/10.1007/s13593-014-0277-7
16. Bukhari, M. A., Ahmad, Z., Ashraf, M. Y., Afzal, M., Nawaz, F., Nafees, M., Jatoi, W. N., Malghani, N. A., Shah, A. N., & Shah, A. (2021). Silicon mitigates drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) through improving photosynthetic pigments, biochemical and yield characters. *Silicon*, *13*, 4757-4772. https://doi.org/10.1007/s12633-020-00797-4
17. Bybee-Finley, K., & Ryan, M. R. (2018). Advancing intercropping research and practices in industrialized agricultural landscapes. *Agriculture*, *8*, 80. https://doi.org/10.3390/agriculture8060080
18. Daneshman, F., Arvin., M. J., Keramat., B., & Momeni, N. (2012). Interactive effects of salt stress and salicylic acid on germination and plant growth parameters of maize (*Zea mays* L.) under field conditions. *Plant Process and Function*, *1*(1), 56-70.
19. Darvizheh, H., Zahedi, M., & Abbaszadeh, B. (2019). Effects of foliar application of salicylic acid and spermine on the growth and root morphological characteristics of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) under drought stress. *Journal of Plant Process and Function*, *8*(30), 225-242.
20. Eskandari, H., Alizadeh Amrai, A., & Kazemi, K. (2019). The effect of drought stress due to partial root irrigation on water use efficiency and grain yield of corn (*Zea mays* L.) and mung bean (*Vigna radiate* L.) in different intercropping patterns. *Environmental Stress in Crop Science*, *12*(1), 29-40. https://doi.org/10.22077/escs.2018.1133.1233
21. Eslami Khalili, F., Pirdashti, H., & Motaghian, A. (2011). Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) yield in different density and mixture intercropping via competition indices. *Journal of Agroecology*, *25*, 94-105.

22. Fallah, S., Kakoulvand, R., & Abasi souraki, A. (2018). Effect of plant competition on yield and yield components of black cumin and fenugreek under drought stress conditions. *Journal of Plant Production Science, 25*(2), 35-51. https://doi.org/10.22069/jopp.2018.12836.2154
23. Farahbakhsh, H., & Shamsaddin Saiid, M. (2011). Effect of seed priming with NaCl on maize germination under different saline conditions. *African Journal of Agricultural Research*, 66095-6099.
24. Farnia, A., Noormohammadai, G., Naderi, A., Darvish, F., & Majidi-Hervan, I. (2006). Effect of drought stress and strains of Bradyrhizobium japonicum on grain yield and associated characteristics in soybean in Borujerd. *Iranian Journal of Crop Sciences, 8*(3), 201-214.
25. Farooq, M., Gogoi, N., Barthakur, S., Baroowa, B., Bharadwaj, N., Alghamdi, S. S., & Siddique, K. H. M. (2017). Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science, 203*, 81-102. https://doi.org/10.1111/jac.12169
26. Ghanbari, A., Ghadiri, H., Ghafari Moghadam, M., & Safari, M. (2010). Study of intercropping of corn (*Zea mays* L.) and squash (*Cucurbita* sp.) and its effect on weed control. *Iranian Journal of Field Crop Science, 41*(1), 43-55. (in Persian).
27. Gholi Nejad, A., Yadavi, A., Movahhedi Dehnavi, M., & Farajee, H. (2018). The effect of additive intercropping on yield and yield components of sweet corn (*Zea mays* L.var. Saccharata) and mungbean (*Vigna radiate* L.) and weed biomass. *Journal of Agroecology, 10*(1), 120-134. https://doi.org/10.22067/jag.v10i1.54036
28. Gliessman, S. R. (1990). *Agroecology: Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture*. Springer-Verlag, New York 380 pp.
29. Gomaa, M. A., Kandil, E. E., El-Dein, A. A. M. Z., Abou-Donia, M. E. M., Ali, H. M., & Abdelsalam, N. R. (2021). Increase maize productivity and water use efficiency through application of potassium silicate under water stress. *Scientific Reports, 11*, 224. https://doi.org/10.1038/s41598-020-80656-9
30. Hafez, E. M., Osman, H. S., Gowayed, S. M., Okasha, S. A., Omara, A. E. -D., Sami, R., Abd El-Monem, A. M. & Abd El-Razek, U. A. (2021). Minimizing the adversely impacts of water deficit and soil salinity on maize growth and productivity in response to the application of plant growth-promoting rhizobacteria and silica nanoparticles. *Agronomy, 11*, 676. https://doi.org/10.3390/agronomy11040676
31. Hamd Alla, W. A., Shalaby, E. M., Dawood, R. A., & Zohry, A. A. (2014). Effect of cowpea (*Vigna sinensis* L.) with maize (*Zea mays* L.) intercropping on yield and its components. World Academy of Science, Engineering and Technology. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 8*(11), 1170-1176.
32. Hamzei, J., & Seyedi, M. (2013). Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) intercropping systems using advantageous indices of interference conditions. *Journal of Agriculture Science, 6*, 1-12.
33. Hashemi Dehkourdi, E., Mousavi, M., Moallemi1, N., & Ghafariyan moghareb, M. H. (2017). Effect of nanoparticles of titanium dioxide (anatase) on physiological characteristics of strawberry (*Fragaria ananassa* c.v.Queen Elisa) in hydroponic condition. *Journal of Plant Process and Function, 5*(16), 1-8.
34. Heydari, H., Alizadeh, Y., & Fazeli, A. (2019). Effect of seed pretreatment and foliar application of salicylic acid on some physiological characteristics and yield of mung bean (*Vigna radiata* L.) under drought stress conditions. *Journal of Plant Producion, 26*(2), 127-141. https://doi.org/10.22069/jopp.2019.14863.2327
35. Hu, F., Feng, F., Zhao, C., Chai, Q., Yu, A., Yin, W., & Gan, Y. (2017). Integration of wheat-maize intercropping with conservation practices reduces CO_2 emissions and enhances water use in dry areas. *Journal of Soil Tillage Research, 169*, 44-53.
36. Janmohammadi, M., Yousefzadeh, S., Dashti, Sh., & Sabaghnia, N. (2017). Effects of exogenous application of nano particles and compatible organic solutes on sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Botanica Serbica, 41*(1), 37-46.
37. Javanmard, A., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Javanshir, A., Moghaddam, M., & Janmohammadi, H. (2012). Effects of Maize Intercropping with legumes on forage yield and quality. *Sustainable Aagricultural and Production Science, 22*(3), 137-149. (in Persian).
38. Jensen, E. S., Carlsson, G., & Hauggaard-Nielsen, H. (2020). Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: a global-scale analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, 1-9. https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x
39. Kalantari khandani, A., Kocheki, A. R., & Nasiri Mahalati, M. (2018). Effects of maize-soybean cultivars as replacement series in intercropping on yield and land equivalent ratio. *Journal of Applied Crop Research, 31*(2), 21-45.
40. Kalteh, M., Alipour, Z. T., Ashraf, S., Aliabadi, M. M., & Nosratabadi, A. F. (2014). Effect of silica nanoparticles on basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. *Journal of Chemical Health Risks, 4*, 49-55.
41. Kamalvandi, S., & Mirshekari, F. (2013). Effect of drought stress on yield and yield components of mung cultivars. *Journal of Plant Production Science, 4*(2), 14-18.
42. Kaur, S., Gupta, A. K., & Kaur, N. (2005). Seed priming increases crop yield possibly by modulating enzymes of sucrose metabolism in chickpea. *Journal of Agronomy and Crop Science, 191*, 81-87.

43. Khadim, S. A., Ramroudi, M., Golavi, M., & Rusta, M. J. (2011). The effect of drought stress and different proportions of manure and superabsorbent polymer application on yield and yield components of grain corn (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science, 42*(1), 115-123.
44. Khoramivafa, M., Eftekharinasab, N., Sayyadian, K., & Najaphy, A. (2011). Water use efficiency in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. var. *styriac*)/ chickpea (*Cicer arietinum* L.)- lentil (*Lens esculenta* Moench.) intercropping system associated with several nitrogen levels. *Journal of Agroecology, 3*(2), 245-253. (in Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v3i2.13533
45. Layek, J., Das, A., Mitran, T., & Nath, C. (2018). Cereal+legume intercropping: an option for improving productivity and sustaining soil health. in Legumes for Soil Health and Sustainable Management (eds. Meena et al.) 347-386 (Springer, 2018). https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4_11
46. Li-li, M., Li-Zhen, Z., Si-ping, Z., Evers, J. B., Vanderwerf, W., Jiug, W. J., Hong-quang, S., Zhi Cheng, S., & Spiertz, H. (2017). Resource use efficiency, ecological intensification and sustainability of intercropping systems. *Journal of Integrative Agriculture, 14*(8), 1542-1550.
47. Lithourgidis, A. S., & Dordas, C. A. (2010). Forage yield, growth rate, and nitrogen uptake of faba bean intercrops with wheat, barley, and rye in three seeding ratios. *Crop Science, 50*, 2148-2158. https://doi.org/10.2135/cropsci2009.12.0735
48. Lotfi, R., Ghassemi-Golezani, K., & Najafi, N. (2018). Grain filling and yield of mung bean affected by salicylic acid and silicon under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1457686
49. Mabudi Bilesuar, H., & Zehtab Salmasi, S. (2017). Evaluation of yield and advantages of corn (*Zea mays* L.) and sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) intercropping. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science, 27*(1), 1-11.
50. Machiani, M. A., Javanmarda, A., Morshedloo, M. A., & Maggi, F. (2018). Evaluation of competition, essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean. *Industrial Crops and Products, 111*, 743-754. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.052
51. Mahmoodi, K., Alizadeh, Y., Abdul-Hamid, H., & Naji, H. R. (2020). Effect of nano Sio_2 on physiological features of *Pistacia atlantica* subsp. Mutica under drought stress. *Journal of Wood and Forest Science and Technology, 26*(4), 85-100. https://doi.org/10.22069/jwfst.2020.13986.1715
52. Mazaheri, D., Madani, A., & Oveysi, M. (2006). Assessing the land equivalent ratio (LER) of two corn (*Zea mays* L.) varieties intercropping at various nitrogen levels in Karaj, Iran. *Central European Agriculture, 7*(2), 359-364.
53. Mehrabian moghadam, N., Arvin, M. J., Khajouinejad, G. H., & Maghsoudi, K. (2011). Effect of salicylic acid on growth and forage and grain yield of maize under drought stress in field conditions. *Seed and Plant Production, 27*(2), 41-55.
54. Miri, H. R., Shokani, M. M., & Armin, M. (2016). Reaction of yield and yield components of maize under relative drought of root and potassium fertilizer. *Journal of Agronomy, 111*, 35-43.
55. Mohavieh Assadi, N., Bijanzadeh, E., Behpouri, A., & Barati, V. (2020). Effect of relay intercropping of chickpea (*Cicer arietinum* L.) with barley (*Hordeum vulgare* L.) on biochemical traits and yield under late season drought stress. *Iranian Journal of Pulses Research, 11*(2), 164-182. https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i2.78361
56. Mojadam, M., & Modhej, A. (2012). Effect of nitrogen level on water use efficiency yield and yield component of maize in optimum and drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research, 10*(3), 546-554.
57. Moradi, A., Ahmadi, A., & Hossein Zadeh, A. (2008). Agro-Physiological Responses of Mung Bean (cv. Partov) to Severe and Moderate Drought Stress Applied at Vegetative and Reproductive Growth Stages. *Journal of Water and Soil Science, 12*(45), 659-671.
58. Naderi, M. R., & Abedi, A. (2012). Application of Nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. *Journal of Nanotechnology, 11*(1), 18-26. (in Persian).
59. Noryani, H. (2013). Effect of water deficit stress on yield and yield components of mung bean in different planting densities. *Crop Physiology Journal, 18*, 35-47.
60. Nyawade, S., Gitari, H. I., Karanja, N. N., Gachene, C. K. K., Schulte-Geldermann, E., Sharma, K., & Parker, M. L. (2020). Enhancing Climate Resilience of Rain-Fed Potato Through Legume Intercropping and Silicon Application. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 4*, 566345. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.566345
61. Raghara, H., & Mousavi, S. G. H. (2018). The effect of drought stress and application of humic and salicylic acid on physiological traits, yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology, 13*(50), 87-101. (in Persian).
62. Rea, R. S., Islam, M. R., Rahman, M. M., Nath, B., & Mix, K. (2022). Growth, Nutrient Accumulation, and Drought Tolerance in Crop Plants with Silicon Application: A Review. *Sustainability, 14*, 4525. https://doi.org/10.3390/su14084525
63. Ren, Y., Wang, X., Zhang, S., Palta, J. A., & Chen, Y. (2017). Influence of spatial arrangement in maize-soybean intercropping on root growth and water use efficiency. *Plant and Soil, 415*, 131-144.
64. Renwick, L. L. R., Kimaro, A. A., Hafner, J. M., Rosenstock, T. S., & Gaudin, A. C. M. (2020). Maize-Pigeonpea Intercropping Outperforms Monocultures Under Drought. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 4*, 562663.

https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.562663
65. Sabaghnia, N., Javanmard, A., Janmohammadi, M., & Nouraein, M. (2018). The Influence of nano-TiO_2 and Nano-Silica Particles Effects on Yield and Morphological Traits of Sunflower. *Helia Journal, 41*(69), 213-225. https://doi.org/10.1515/helia-2018-0010
66. Sadeghipour, A., & Mr, P. (2014). Investigating the effect of drought stress and application of magnetic water on mung bean yield and yield components. *Crop Production Research Journal, 6*(1), 79-86.
67. Said, M. T., & Hamd-Alla, W. A. (2018). Impact of Foliar Spraying with Antioxidant and Intercropping Pattern of Maize and Soybean on Yields and its Attributes. *Journal of Plant Production 9*(12), 1069-1073.
68. Shojaei, H., & Makarian, H. (2015). Effect of nano and non-nano zinc oxide spraying on mung bean (*Vigna radiata* L.) yield and yield components under drought stress condition. *Iranian Journal of Field Crops Research, 12*(4), 727-737.
69. Shokri, S., Hooshmand, A., Golabi, M., Alemzadeansari, N., & Struve, D. (2022). Effect of sSilica nNanoparticles on Yield of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) in Ahvaz region. *Agricultural Science and Sustainable Production, 32*(1), 279-292. (in Persian).
70. Siame, R., Mirshekari, B., Farah Vash, F., Rashidi, V., and Tarinzhad, A. R. (2017). The effect of seed priming with salicylic acid and water deficit tension on enzyme activity and yield of grain corn. *Crop Physiology Journal, 9*(34): 23-35. (in Persian).
71. Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Firoz, M., & Al-Khaishany, M. Y. (2015). Role of nanoparticles in plants. In: Siddiqui, M.H., Al-Whaibi, M.H., Mohamed, H., Mohammad, F. (eds) *Nanotechnology and Plant Sciences*, Springer International Publishing, Berlin, pp. 19-35.
72. Stolz, E., & Nadeau, E. (2014). Effect of intercropping on yield, weed incidence, forage quality and soil residual N inorganically grown forage maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research, 169*, 21-29.
73. Ullah, A., Bakht, J., Shafi, M., & Islam, W. A. (2002). Effect of various irrigation levels on different chickpea varieties. *Asian Journal of Plant Science, 4*, 355-357.
74. Undie, U. L., Uwah, D. F., & Attoe, E. E. (2012). Effect of intercropping and crop arrangment on yield and productivity of late season maize/soybean mixtures in the humid environment of south southern Nigeria. *Journal of Agriculture Science, 4*, 37-50.
75. Vaculikova, M., Tandy, M., Vaculik, S., Luxova, M., & Schulin, R. (2016). Alleviation of antimonate (SbV) toxicity in maize by silicon (Si). *Environmental and Experimental Botany, 128*, 11-17. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.04.001
76. Wang, G. P., Li, F., Zhang, J., Zhao, M. R., Hui, Z., & Wang, W. (2010). Overaccumulation of glycine betaine enhances tolerance of the photosynthetic apparatus to drought and heat stress in wheat. *Photosynthetica, 48*, 30-41.
77. Wani, S. H., Singh, N. B., Haribhushan, A., & Mir, J. I. (2013). Compatible solute engineering in plants for abiotic stress tolerance-role of glycine betaine. *Current Genomics, 14*: 157-161.
78. Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J. F., Ferrer, A., & Peigné, J. (2014). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development, 34*, 1-20. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7
79. Xie, J., Wang, L., Li, L., Anwar, S., Luo, Z., Zechariah, E., & Kwami Fudjoe, S. (2021). Yield, economic benefit, soil water balance, and water use efficiency of intercropped maize/potato in responses to mulching practices on the semiarid loess plateau. *Agriculture, 11*, 1100. https://doi.org/10.3390/agriculture11111100
80. Yuvakkumar, R., Elango, V., Rajendran, V., Kannan, N., & Prabu, P. (2011). Influence of nanosilica powder on the growth of maize crop (*Zea Mays* L.). *International Journal of Green Nanotechnology, 3*, 180-190.
81. Zareyi, B., Kiarostami, Kh., Hosseinzadeh Namin, M., & Sorahinobar, M. (2020). Effect of silicon nanoparticles on some physiological parameters of saffron corm (*Crocus sativus*). *Journal of Applied Biology, 33*(2), 52-77.
82. Zhang, F. Y., Zhao, P. T. W. X. N., & Cheng, X. F. (2012). Water-saving mechanisms of intercropping system in improving cropland water use efficiency. *Chinese Journal of Applied Ecology, 23*, 1400-1406.
83. Zhao, C., Fan, Z., Coulter, J. A., Yin, W., Hu, F., & Yu, A. (2020). High maize density alleviates the inhibitory effect of soil nitrogen on intercropped pea. *Agronomy, 10*, 248.
84. Zhu, J. K. (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Reviews Plant Biology, 53*, 247-316.
85. Ziyai, H., Pirdashti, H., Zare, S., & Motaghian, A. (2015). Evaluation of grain yield and competitive indices in intercropping of grain maize (*Zea mays* L.) with different bean cultivars (*Phaseolus* spp.). *Journal of Agroecology, 7*(1), 52-61.